



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Diseño de una maquina fitness

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Gomis Castelló, Ignacio

Tutor/a: Lo Iacono Ferreira, Vanesa Gladys

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

# RESUMEN

## **“Diseño de una maquina fitness”**

La situación actual de salud pública y los recientes confinamientos han limitado notablemente el acceso a gimnasios. En estas condiciones, mucha gente ha optado por la realización de deporte en casa por salud y mantenerse en forma.

Con el fin de ofrecer un producto práctico, novedoso y accesible, se propone el diseño y cálculo estructural de una máquina “*multipower*”. Se trata de una máquina que permite la realización de ejercicio físico de diferentes grupos musculares y una amplia variedad de ejercicios. Las dimensiones de la maquinaria y su posición de almacenamiento permitirán su uso sin necesidad de grandes espacios.

### **Palabras clave:**

Maquina fitness; deporte; entrenamiento; ejercicio físico; diseño de maquinaria.

# RESUM

## **“Disseny d'una màquina fitness”**

La situació actual de salut pública i els recents confinaments han limitat notablement l'accés a gimnasos. En aquestes condicions, molta gent ha optat per la realització d'esport a casa per salut i mantindre's en forma.

Amb la finalitat d'oferir un producte pràctic, nou i accessible, es proposa el disseny i càlcul estructural d'una màquina “\*multipower”. Es tracta d'una màquina que permet la realització d'exercici físic de diferents grups musculars i una àmplia varietat d'exercicis. Les dimensions de la maquinària i la seua posició d'emmagatzematge permetrà el seu ús sense necessitat de grans espais.

# ABSTRACT

## **“Design of a fitness machine”**

The current public health situation and recent lockdowns have severely limited access to gyms. Under these conditions, many people have opted for sports at home for health and to stabilize their fitness.

To offer a practical, novel, and accessible product, the design and structural calculation of a "multipower" machine are proposed. It is a machine that allows the physical exercise of different muscle groups and various movements. The dimensions of the machinery and its storage position will enable its use without the need for large spaces.

## **Key words:**

Fitness machine; sport; training; physical exercise; machinery design.

Agradecimientos:

Me gustaría plasmar mis agradecimientos a las personas que se citarán a continuación:

A mi tutora: Vanesa Gladys Lo Iacono Ferreira, por su voluntad y esfuerzo durante el desarrollo de este proyecto tomándolo como si fuera uno suyo, empleando su tiempo durante varios meses. Me ha animado durante todo el periodo brindándome facilidades y opciones.

Al profesor: Ramón Luna, por tomarse un tiempo en ayudar en la resolución de una cuestión del proyecto siendo muy útil, además de todo el trabajo dedicado a los alumnos de la universidad durante los años del grado.

A mis padres: Carmen y Eugenio, por inculcarme los valores necesarios para llegar donde ahora mismo me encuentro, haciendo esfuerzos anualmente por mi educación y conocimiento, y sin dejar de lado que me han apoyado en los peores momentos de esta etapa, han sido mi guía siempre.

A mi hermano: Jorge, por estar siempre a disposición cuando me he visto agobiado, dándome sus mejores consejos y ayudándome con su previa experiencia, haciéndome ver que es lo mejor para mi futuro y llevarme por el camino adecuado pensando en mi éxito profesional.

A mis abuelos: Dolores y Eugenio, han sido una motivación extra en toda la etapa, alegrándose por cada uno de mis pasos y enorgullecerse como se de ellos se tratase, sin dejar atrás los valores rurales y su forma de ver la vida que han inculcado en mi para formarme como persona.

A mis amigos: Por ser mi lugar de desconexión, ayudándome a mantener la cabeza despejada y brindarme los mejores momentos de mi todavía juventud, manteniéndose como un pilar muy importante.

Quería agradecer a todos las personas que han intervenido en mi paso por la universidad que han puesto su esfuerzo en formarnos como excelentes profesionales.

Por todos vosotros, espero que os guste.

Documentos de proyecto:

- Memoria
- Anejo 1 Cálculos
- Anejo 2 Planos
- Pliego de condiciones
- Anejo 3 presupuesto
- Anejo 4 Figuras jaula de potencia

# MEMORIA

## Índice

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Abreviaturas .....                     | 10 |
| 2     | Objetivo.....                          | 11 |
| 3     | Introducción .....                     | 11 |
| 3.1   | Antecedentes .....                     | 11 |
| 3.2   | Motivación .....                       | 12 |
| 3.3   | Justificación.....                     | 12 |
| 3.4   | El mundo del fitness.....              | 12 |
| 3.4.1 | Inicios del gimnasio.....              | 12 |
| 3.4.2 | El nacimiento del fitness .....        | 13 |
| 3.4.3 | La moderna industria del fitness.....  | 13 |
| 4     | Normativa.....                         | 13 |
| 4.1   | Aspectos ambientales .....             | 14 |
| 5     | Jaula de potencia .....                | 14 |
| 5.1   | ¿Qué es una jaula de potencia?.....    | 14 |
| 5.2   | Tipos de jaulas de potencia .....      | 14 |
| 6     | Selección del material .....           | 15 |
| 6.1   | Aceros de grado ASRM A36.....          | 17 |
| 6.1.1 | Composición química.....               | 17 |
| 6.1.2 | Propiedades mecánicas.....             | 18 |
| 7     | Selección del perfil estructural ..... | 18 |
| 8     | Proceso de fabricación .....           | 19 |
| 8.1   | Selección proceso de fabricación ..... | 19 |
| 8.2   | Laminado en frío .....                 | 20 |
| 9     | Diseño y descripción final.....        | 20 |
| 9.1   | Diseño de los perfiles .....           | 21 |
| 9.2   | Barras de seguridad .....              | 22 |
| 9.3   | Barra de dominadas.....                | 23 |
| 9.4   | Anclajes.....                          | 24 |
| 9.5   | <i>Spotters</i> .....                  | 25 |
| 9.6   | Sistema de poleas .....                | 26 |
| 9.6.1 | Poleas seleccionadas.....              | 28 |
| 9.6.2 | Selección del cable .....              | 28 |
| 9.7   | Diseño completo.....                   | 29 |
| 9.7.1 | Medidas generales .....                | 30 |
| 9.8   | Uniones .....                          | 32 |
| 9.8.1 | Soldadura MAG .....                    | 33 |



|       |                             |    |
|-------|-----------------------------|----|
| 9.8.2 | Tornillería.....            | 33 |
| 10    | Metodología de cálculo..... | 35 |
| 11    | Análisis de viabilidad..... | 36 |
| 11.1  | Viabilidad técnica.....     | 36 |
| 11.2  | Viabilidad económica.....   | 36 |
| 11.3  | Viabilidad del mercado..... | 37 |
| 11.4  | Viabilidad legal.....       | 37 |
| 12    | Presupuesto.....            | 37 |
| 13    | Conclusiones.....           | 38 |
| 14    | Bibliografía.....           | 39 |

## Índice de ilustraciones

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| Ilustración 1:  | Gráfica tenacidad y módulo de Young.....     | 15 |
| Ilustración 2:  | Gráfica densidad.....                        | 16 |
| Ilustración 3:  | Gráfica precio/kg.....                       | 17 |
| Ilustración 4:  | Tabla perfiles PTR / Fuente:Collado.....     | 18 |
| Ilustración 5:  | Perfiles de la estructura laterales.....     | 21 |
| Ilustración 6:  | Perfiles de apoyo laterales.....             | 21 |
| Ilustración 7:  | Perfil de apoyo trasero.....                 | 22 |
| Ilustración 8:  | Perfil lateral superior.....                 | 22 |
| Ilustración 9:  | Barra de seguridad.....                      | 22 |
| Ilustración 10: | Pieza de apoyo barra de seguridad.....       | 23 |
| Ilustración 11: | Barra de dominadas.....                      | 23 |
| Ilustración 12: | Escuadra para perfiles.....                  | 24 |
| Ilustración 13: | Escuadra ensamblada.....                     | 24 |
| Ilustración 14: | Chapas soldadas.....                         | 25 |
| Ilustración 15: | Chapa ensamblada.....                        | 25 |
| Ilustración 16: | Spotter.....                                 | 26 |
| Ilustración 17: | Spotter en máquina.....                      | 26 |
| Ilustración 18: | Sistema de poleas.....                       | 27 |
| Ilustración 19: | Poleas BH 90mm.....                          | 28 |
| Ilustración 21: | Bloqueo del cable.....                       | 29 |
| Ilustración 22: | Diseño jaula de potencia.....                | 29 |
| Ilustración 23: | Diseño jaula de potencia.....                | 30 |
| Ilustración 24: | Medidas generales jaula de potencia.....     | 30 |
| Ilustración 25: | Barra olímpica de 20 kg.....                 | 31 |
| Ilustración 26: | Tabla datos perfiles 38,1x38,1 mm.....       | 32 |
| Ilustración 27: | Tabla datos perfiles 50,8x50,8 mm.....       | 32 |
| Ilustración 28: | Perfil soldado y atornillado.....            | 32 |
| Ilustración 29: | DIN 931/ISO 4014/ Fuente: Entaban.....       | 33 |
| Ilustración 30: | DIN 125/ ISO 7089-7090/ Fuente: Entaban..... | 34 |
| Ilustración 31: | Unión perfiles.....                          | 34 |
| Ilustración 32: | DIN 934/ ISO 4032/ Fuente: Entaban.....      | 35 |
| Ilustración 33: | Tornillo completo.....                       | 35 |

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1: Abreviaturas .....                    | 10 |
| Tabla 2: Composición química Acero A36 .....   | 17 |
| Tabla 3: Propiedades mecánicas.....            | 18 |
| Tabla 4: Especificaciones técnicas polea ..... | 28 |
| Tabla 5: Datos técnicos .....                  | 29 |

## Índice de ecuaciones

|   |    |
|---|----|
| Ecuación 1: Peso total jaula de potencia..... | 31 |
|---|----|

## 1 Abreviaturas

Las abreviaturas utilizadas durante el proyecto aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1: Abreviaturas

| Abreviatura | Nombre                                      | Tipología          |
|-------------|---|--------------------|
| TFG         | Trabajo fin de grado                        | Nombre de proyecto |
| PTR         | Perfil tubular rectangular                  | Normalización      |
| Mpa         | Mega pascal                                 | Unidad de presión  |
| Kg          | Kilogramo                                   | Unidad de masa     |
| N           | Newton                                      | Unidad de fuerza   |
| mm          | Milímetro                                   | Unidad de longitud |
| kN          | Kilo newton                                 | Unidad de fuerza   |
| MIG         | Metal de gas inerte                         | Tipo de soldadura  |
| MAG         | Metal de gas activo                         | Tipo de soldadura  |
| DIN         | Instituto alemán de estandarización         | Institución        |
| ISO         | Organización internacional de normalización | Institución        |

## 2 Objetivo

El presente Trabajo de Final de Grado (TFG) ha sido realizado por el alumno Ignacio Gomis Castelló, estudiante del grado de Ingeniería Mecánica en la universidad Politècnica de València (UPV) en el campus de Alcoy.

El objetivo del trabajo actual es el diseño y cálculo de una máquina de fitness de uso individual y no profesional abierto a todo tipo de estaturas y pesos con la finalidad de poder ejercitar una gran variedad de grupos musculares sin la necesidad de desplazarse a un centro deportivo. En este caso se trata de una jaula de potencia la cual estará complementada con poleas para ampliar el abanico de ejercicios posibles, permitiendo variar entre peso libre y con dichas poleas. Se trata de máquinas con unas dimensiones que permiten poder alojarla en cualquier espacio con un área moderada.

## 3 Introducción

En los últimos años el deporte muscular ha ido cobrando vida en busca de un cuerpo saludable y atlético, con la llegada de la pandemia la salud se ha visto afectada por la cuarentena impidiéndonos acudir a gimnasios o condicionado el ejercicio físico habitual, este tipo de máquinas de fitness ganaron repercusión ya que se trata de máquinas multifuncionales que no albergan gran espacio y a la disponibilidad de la mayoría de la población.

El entrenamiento de fuerza se trata de un deporte en el cual se desplazan cargas acordes a la capacidad de cada uno con el objetivo de trabar la fuerza, la resistencia entre otros. Dentro de este entrenamiento podemos encontrar varias disciplinas que independientemente de sus diferencias tienen como objetivo la ganancia de masa muscular o resistencia. (Mostoles, 2022)

Si bien el entrenamiento cardiovascular tiene un papel fundamental en la salud, el entrenamiento de fuerza también es necesario. Este tipo de entrenamiento permite mejora la densidad ósea, y disminuye el riesgo de osteoporosis, así como sufrir lesiones. Una buena densidad ósea minimiza molestias y riesgos de fracturas en edades avanzadas y desarrollar una vida plena e independiente.

Las máquinas para ejercitar fuerza, como otras, han sido dotadas de sistemas de seguridad que, en caso de fallo, protejan al individuo que se encuentre realizando el ejercicio. Las jaulas de potencia, entre otras, se utilizan para que podamos realizar este deporte con la máxima seguridad posible.

### 3.1 Antecedentes

Después de un periodo de pandemia en el cual la población no ha podido realizar su vida cotidiana con normalidad y veía como no podía progresar físicamente para llevar una vida saludable, la sociedad intentó conseguir material para poder hacer deporte en una vivienda de manera que fuese económico y pudiese posibilitar la ejecución de infinidad de ejercicios tanto de tren superior como inferior.

Una jaula de potencia puede sustituir de manera eficiente la mensualidad de un gimnasio ya que en ella se pueden entrenar todos los grupos musculares. Al tener un uso amplio, su amortización sería a corto plazo. También permite ahorrar tiempo de desplazamiento a los centros de entrenamiento.

## 3.2 Motivación

La motivación principal que me ha llevado al desarrollo de este TFG ha sido concluir la carrera de “Grado en Ingeniería Mecánica” y con ello la obtención de la titulación anteriormente mencionada.

Dicha elección se ha tomado por la pasión que denoto en mi por los deportes en general. Una lesión me llevo a practicar el entrenamiento de fuerza por bien de mi salud física, y en él, he descubierto un deporte que me llena como persona. Como esta titulación me permite diseñar y calcular todos los parámetros necesarios para llevar a cabo una jaula de potencia, pensé que este proyecto podía generar en mi un gran entusiasmo por mi vocación a éste y ampliar el campo de conocimiento en este sector a nivel industrial, conocer todo aquello que entrenando no se aprende si no buscando información a través de diferentes distribuidores de este tipo de máquinas.

## 3.3 Justificación

Se trata de un trabajo el cual es necesario para la obtención del título universitario, este trabajo conforma un total de 12 créditos son los últimos del grado en Ingeniería Mecánica.

Este proyecto se trata de una jaula de potencia que ha sido desarrollada por el alumno autor del TFG. Se han diseñado todas las piezas necesarias para su fabricación y se ha procedido a calcular aquellos factores que se han considerado oportunos para el buen funcionamiento de esta máquina de fitness. Además del desarrollo del TFG, se pretende también promover la salud física y mental para conformar un bienestar con nosotros mismos, haciendo ver que tener una buena condición física es muy accesible para cualquier persona de lo que se nos hace ver frecuentemente.

## 3.4 El mundo del fitness

### 3.4.1 Inicios del gimnasio

Se trata de uno de los sectores que, a pesar, de ser de los más beneficiosos para la salud, no tiene la mejor valoración de la población. Dedicar parte del ocio a trabajar con peso e incluso a llevar una pauta dietético nutricional es un estilo de vida recomendable. Este deporte nos permite trabajar cada uno de los músculos de manera aislada consiguiendo que concentremos toda la parte del ejercicio de una zona concreta.

Por consiguiente, es interesante este hábito en nuestra vida, a medida que la persona va aumentando la edad podrán notarse capacidades que otra persona no tenga y se encuentre con niveles de dependencia a una edad mucho más prematura.

Grecia es la principal raíz de lo que hoy en día conocemos como gimnasio, la palabra gimnasio proviene de “*gymnos*”, que significa desnudo, en aquellos tiempos los gimnasios se utilizaban para la educación de los hombres jóvenes y para el baño.

Estos gimnasios fueron diseñados por los griegos con la finalidad de que los atletas se entrenaran para realizar sus prácticas en competiciones como los juegos olímpicos. Después de la caída de los imperios grecorromanos los cuerpos musculados y saludables empezaron a ser mal vistos y estos desaparecieron. (MOVNAT, 2019)

### 3.4.2 El nacimiento del fitness

El primer gimnasio comercial fue abierto por el francés Hippolyte Triat, en la década de 1840 abrió primeramente uno en Bruselas y más tarde otro en Francia. (MOVNAT, 2019)

En el siglo XX llegó el auge de los deportes competitivos, y Edmond Desbonnet, un francés fotógrafo y académico que defendió la cultura física puso de moda a través de varias publicaciones el afán por este deporte y la salud. Además creó una cadena de clubes de ejercicio en el que impartía clases a gente de la alta sociedad francesa. (MOVNAT, 2019)

### 3.4.3 La moderna industria del fitness

Se vio el potencial de esta nueva industria y sobre la primera mitad del siglo XX se empezaron a ver productos para el desarrollo de la musculatura y los centros se llenaban de maquinaria más sofisticada. (MOVNAT, 2019)

También se empezaron a vender y conocer los suplementos dietéticos a través de publicaciones en diferentes medios de información

Aunque hoy en día hay una concienciación sobre la importancia del ejercicio físico y la alimentación, es una de las épocas en que la que contamos con un número muy elevado de población sedentaria (INE, 2020). Afortunadamente, no solo se ve la práctica del fitness como algo puramente estético si no como un estilo de vida saludable necesario en toda la población.

## 4 Normativa

La normativa que influye en el desarrollo de este proyecto y, por tanto, que se ha tenido en cuenta para el desarrollo del proyecto ha sido la que se encuentra a continuación:

- DOUE-L-2011-81464: Boletín oficial del estado, regulación de los requisitos de seguridad de equipos para gimnasia.
- UNE-EN 913:2021+A1:2022: Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo.
- UNE-EN ISO 20957-1:2014: Equipos fijos para entrenamiento. Parte 1: Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo. (ISO 20957-1:2013)
- UNE-EN ISO 20957-2:2021: Equipos fijos para entrenamiento. Parte 2: Equipos para entrenamiento de la fuerza; requisitos técnicos específicos de seguridad y métodos de ensayo adicionales. (ISO 20957-2:2020).
- UNE-EN 12197:1998: Equipos para gimnasia. Barras fijas. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo.
- UNE-EN 12503-5:2001: Colchonetas deportivas. Parte 5: Determinación de la fricción de la base.
- UNE-EN 12503-6:2001: Colchonetas deportivas. Parte 6: Determinación de la fricción superior.
- UNE-EN 12503-7:2001: Colchonetas deportivas. Parte 7: Determinación de la rigidez estática.
- UNE-EN ISO 3834-2:2022: Requisitos de calidad para el soldeo por fusión de materiales metálicos. Parte 2: Requisitos de calidad completos. (ISO 3834-2:2021).
- UNE-EN 1090-1:2011+A1:2012: Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 1: Requisitos para la evaluación de la conformidad de los componentes estructurales.

## 4.1 Aspectos ambientales

En relación con los aspectos ambientales cabe destacar:

- Materiales: el material principal de este proyecto que se ha desarrollado es el acero, se trata de un metal que, como otros, es fácilmente reciclable.
- Uso: el uso de esta máquina no requiere consumo eléctrico ni fungibles, En su fase de uso no genera emisiones.
- Transporte: La máquina ha sido diseñada para ser transportada desmontada, optimizando el espacio de los vehículos de carga.

Estas consideraciones están relacionadas con la norma UNE-EN ISO 14006:2020: sistemas de gestión ambiental. Directrices para incorporar el ecodiseño. (ISO 14006:2020).

## 5 Jaula de potencia

### 5.1 ¿Qué es una jaula de potencia?

Para entender de forma más clara este proyecto se va a explicar y mostrar que es una jaula de potencia de modo que podamos comprender su función dentro del entrenamiento de fuerza.

Una jaula de potencia o “*power rack*” se trata de una estructura de perfiles metálicos, generalmente de acero, rectangulares o cuadrados que se utiliza en el entrenamiento de fuerza, su función es soportar las cargas con las que se está entrenando o en algunos tipos de ejercicios soportar el peso de una persona.

Estos tipos de jaula se utilizan para entrenar varios tipos de músculos, por lo que para poder variar la altura de la barra donde se va a dejar reposar el peso una vez se termine con el ejercicio cuentan con unos agujeros que atraviesan el perfil y que se encuentran a lo largo de toda su longitud. Esto nos permitirá que no solo podamos hacer diferentes tipos de ejercicios si no que se ajuste conforme cada persona se sienta más cómoda dependiendo de su altura.

### 5.2 Tipos de jaulas de potencia

Podemos encontrar diversidad de jaulas de potencia, dependiendo de su uso o del precio que un cliente esté dispuesto a gastar, a continuación, se van a describir diferentes tipos.

- Media jaula de pared

Estos tipos de jaulas de potencia no nos permiten una amplia variedad de ejercicios, principalmente están enfocados a varios ejercicios, sentadillas, *press* de hombros o *press* militar. Aunque se puede realizar *press* de banca y dominadas. Estos se anclan a la pared y solo se encuentran en gimnasios que quieran aprovechar más espacio.

- Media jaula de potencia

Estos tipos de racks son muy simples, dado que la variedad de ejercicios que se pueden realizar es muy escasa, siendo más concretos, solo se pueden realizar dos tipos de ejercicios. Por esta razón, no es de uso muy común, aunque su bajo coste permite complementar un gimnasio casero individual haciéndolo suficiente.

- Jaula de potencia básica

Lo que todo el mundo conoce como jaula de potencia o rack, de los ejemplos anteriores se trata del más completo, ya que se pueden hacer variedad de ejercicios solamente variando algunas cosas como la altura de los soportes, y se utiliza fundamentalmente para realizar peso libre, es decir, una barra con discos.

- Jaula de potencia con poleas

Este es el tipo de jaula que se va a abordar en este proyecto, ya no se trata de una estructura si no que se le han incorporado unas poleas para hacerla multifuncional y permitir una gran variedad de ejercicios sin la necesidad de comprar otro material de gimnasio, además de todos los ejercicios que permiten las otras jaulas, esta permite con las poleas entrenar músculos como los bíceps, tríceps, dorsal y cualquier musculo del cuerpo humano, este ha sido el principal motivo de elección, que sea autosuficiente y completa, más adelante se explicará con profundidad.

## 6 Selección del material

Para realizar la selección de materiales, se realizó un análisis de lo que existía actualmente en el mercado. Es decir, se analizaron los materiales que se utilizan en las máquinas de gimnasio, y en concreto en las jaulas de potencia. Las marcas referencia de esta búsqueda han sido Titanium strength, Bh, Force Usa y Atx.

El material más común utilizado en este tipo de jaulas es el acero. Para analizar mejor este resultado se realizó un estudio con el programa Granta EduPack.

Se realizo el análisis de materiales empezando por las características mecánicas, Se estudió la tenacidad de los materiales frente al módulo de Young., Estas propiedades son necesarias en el material que se va a utilizar ya que estamos ante una jaula de potencia. Entre las características del material, es necesario que, ante fuertes impactos no rompa, es decir, cuando el individuo que este realizando ejercicio repose la barra sobre la máquina y se trate de una RM (repetición máxima) la barra se dejará caer libremente unos centímetros provocando un impacto de gran magnitud sobre la estructura de la jaula. Además, el material tiene que poseer la característica de ante pequeñas deformaciones que se puedan producir por grandes esfuerzos sobre él, mayoritariamente de flexión y vuelva a su estado sin opción de conservar esa deformación mínimamente.

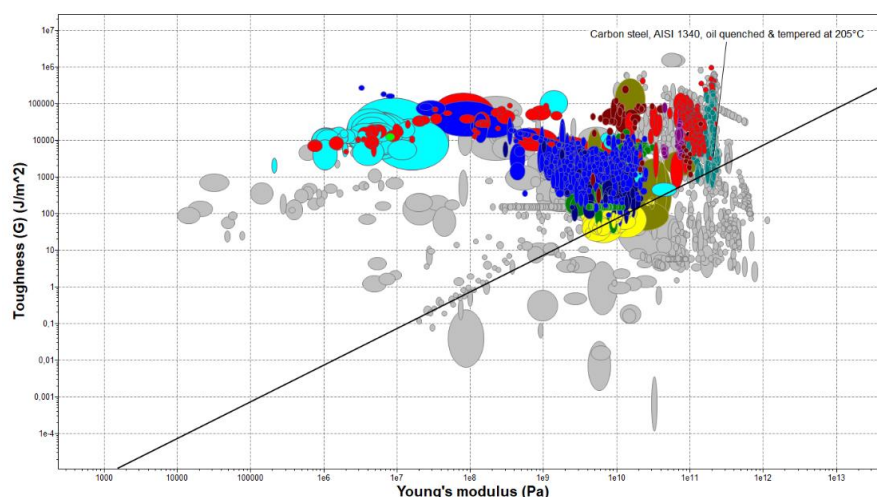


Ilustración 1: Gráfica tenacidad y módulo de Young



Como podemos observar en dicha figura (Ilustración 1;**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), y destacando el acero al carbono, es uno de los mejores materiales que responde a las características que se buscan, tiene un comportamiento excelente frente a estas propiedades en conjunto que es la finalidad de esta primera parte el análisis.

Una vez realizada esta primera búsqueda, se siguió con una propiedad física del material, esta jaula de potencia está pensada para que sea de uso individual y poder utilizarla sin mayores problemas en cualquier vivienda.

Por lo tanto, se ha estudiado la densidad del material para que a la hora de su transporte en caso de que se necesite por su fácil utilidad y amplia a la vez se pueda realizar con absoluta normalidad y sin necesidad de elementos especiales.

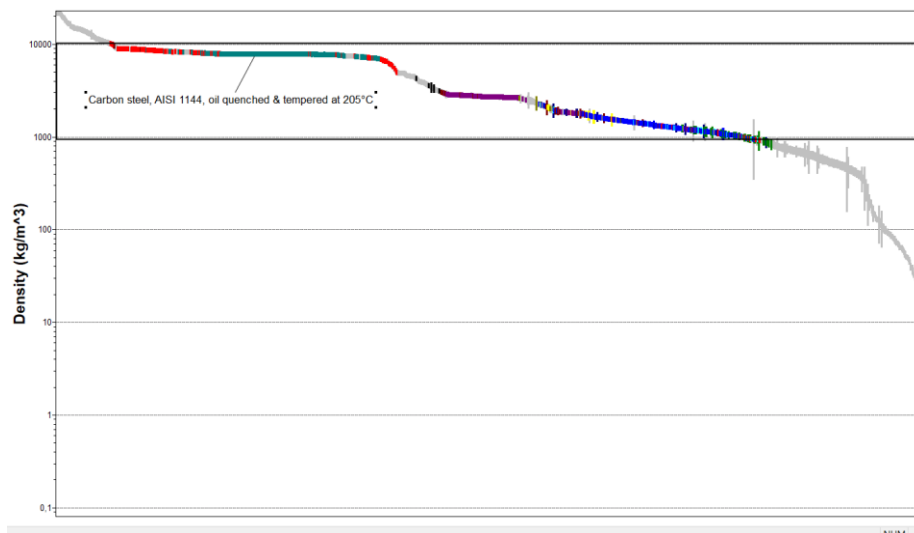


Ilustración 2: Gráfica densidad

Como se puede observar (Ilustración 2), el acero al carbono no se trata de un acero de elevada densidad, es un material que se puede asumir transportarlo razonablemente y dentro de los parámetros que supone construir una jaula de potencia la cual está formada por barras huecas y de longitudes de hasta algo más de 2 metros. Podemos concluir en este análisis que sigue siendo válido, aunque el estudio prioritario es el que se ha realizado en primer lugar, ya que no se trata de una comodidad o facilidad si no de una obligatoriedad enfocando desde el punto de vista de utilidad y seguridad para los deportistas.

Otro factor para tener en cuenta cuando elegimos el material es su precio, como se ha estado hablando durante todo el proyecto, no cabría la posibilidad de diseñar una máquina para uso individual en el hogar y que se tratase de una máquina de precio muy elevado. No conseguir una amortización temprana resultaría una mala elección y una máquina sin futuro, por lo tanto, este análisis tiene un peso de gran importancia.

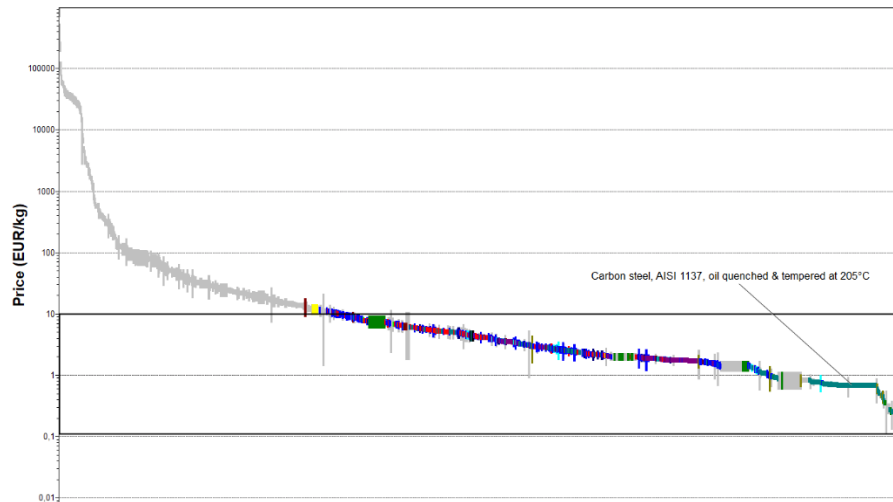


Ilustración 3: Gráfica precio/kg

Como podemos ver claramente en la Ilustración 3, el acero al carbono es un material barato; no supone costes altos a comparación de otros tipos de metales aptos para esta jaula de potencia ficticia.

Como resultado de este análisis, se escoge el acero al carbono. Las propiedades entre los diferentes aceros al carbono no suponen diferencia significativa para esta jaula de potencia. Tras la selección del tipo de perfil que se va a utilizar, se decidirá el material, de modo que se normalicen aquellas piezas que se necesiten y poder tener flexibilidad para el comprador y ofrecer un mejor producto.

## 6.1 Aceros de grado ASRM A36

Se trata de aceros al carbono estructurales para la construcción de estructuras atornilladas y soldadas principalmente, como lo que se está abarcando en este proyecto. Dentro del campo de la construcción tiene más aplicaciones en las cuales se emplea este acero como por ejemplo en la construcción de puentes.

### 6.1.1 Composición química

La Tabla 2 resume la composición química del material elegido.

Tabla 2: Composición química Acero A36

| <b>C</b> | <b>Si</b> | <b>Mn*</b> | <b>S</b> | <b>P</b> | <b>Cu**</b> |
|----------|-----------|------------|----------|----------|-------------|
| ≤ 0.25   | ≤ 0.40    | -          | ≤ 0.05   | ≤ 0.04   | ≥ 0.20      |

\*El contenido del magnesio dependerá del certificado de calidad.

\*\*El contenido mínimo de cobre si su aleación se especifica en el pedido.

### 6.1.2 Propiedades mecánicas

La Tabla 3 muestra las propiedades mecánicas principales del acero escogido.

Tabla 3: Propiedades mecánicas

| Límite elástico mínimo, Mpa | Límite de resistencia, Mpa | Alargamiento relativo mínimo % |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 250                         | 400-500                    | 20                             |

## 7 Selección del perfil estructural

Una vez seleccionado el material principal de la estructura de la jaula de potencia, se va a elegir qué tipo de perfil es el que queremos emplear en el diseño, los tipos de perfiles en los cuales se han analizado han permitido estrechar la búsqueda y facilitarla al mismo tiempo.

En las jaulas de potencia se utilizan principalmente los perfiles tubulares rectangulares (PTR), aunque también se utilizan perfiles tubulares redondos, dependerá del diseñador y de la jaula de potencia la elección final.

El perfil seleccionado para este proyecto ha sido el PTR (Ilustración 4), ya que son perfiles que están fabricados de acero al carbono que se laminan en caliente, este tipo de aceros tienen propiedades mecánicas muy buenas como las que se precisaban en la selección del material.

Los perfiles PTR tienen amplia variedad de medidas y grosor, en este proyecto se han utilizado dos tipos de medidas, ya que hay partes que no necesitan de un perfil tan robusto, aunque generalmente la estructura se ha diseñado con el mismo perfil. (Acero, s.f.)

**P T R**  
PERFIL TUBULAR RECTANGULAR

| DIMENSIONES     |             | CALIBRE | ESPESOR  |      | PESO EN Kg |      |           |       |
|-----------------|-------------|---------|----------|------|------------|------|-----------|-------|
| Plg             | mm          |         | Pulgadas | mm   | M. Lin.    |      | Pza 6.1 m |       |
|                 |             |         | Min      | Min  | Min        | Max  | Min       | Max   |
| 1" x 1"         | 25.4 x 25.4 | 10      | 0.1345   | 3.42 | 2.13       | 2.49 | 13.0      | 15.19 |
|                 |             | 11      | 0.1196   | 3.04 | 1.95       | 2.24 | 11.9      | 13.66 |
|                 |             | 12      | 0.1046   | 2.66 | 1.76       | 1.99 | 10.7      | 12.14 |
|                 |             | 13      | 0.0897   | 2.28 | 1.55       | 1.74 | 9.5       | 10.62 |
| 1 1/4" x 1 1/4" | 31.75x31.75 | 14      | 0.0747   | 1.90 | 1.33       | 1.46 | 8.1       | 8.91  |
|                 |             | 10      | 0.1345   | 3.42 | 2.81       | 3.20 | 17.1      | 19.52 |
|                 |             | 12      | 0.1046   | 2.66 | 2.29       | 2.57 | 14.0      | 15.68 |
| 1 1/2" x 1 1/2" | 38 x 38     | 14      | 0.0747   | 1.90 | 1.71       | 1.87 | 10.4      | 11.41 |
|                 |             | 9       | 0.1495   | 3.80 | 3.81       | 4.02 | 23.2      | 24.52 |
|                 |             | 10      | 0.1345   | 3.42 | 3.50       | 3.91 | 21.4      | 23.85 |
|                 |             | 11      | 0.1196   | 3.04 | 3.17       | 3.33 | 19.3      | 20.31 |
| 2" x 2"         | 50.8 x 50.8 | 12      | 0.1046   | 2.66 | 2.82       | 3.12 | 17.2      | 19.03 |
|                 |             | 14      | 0.0747   | 1.90 | 2.09       | 2.27 | 12.7      | 13.85 |
|                 |             | 9       | 0.1495   | 3.80 | 5.33       | 5.56 | 32.5      | 33.92 |
|                 |             | 10      | 0.1345   | 3.42 | 4.86       | 5.31 | 29.6      | 32.39 |
| 2" x 2"         | 50.8 x 50.8 | 11      | 0.1196   | 3.04 | 4.38       | 4.75 | 26.7      | 28.98 |
|                 |             | 12      | 0.1046   | 2.66 | 3.89       | 4.18 | 23.7      | 25.50 |
|                 |             | 14      | 0.0747   | 1.90 | 2.85       | 3.02 | 17.39     | 18.42 |

Ilustración 4: Tabla perfiles PTR / Fuente: Collado

Con los perfiles que se va a llevar a cabo este proyecto es 50.8x50.8 y calibre 11, este perfil es para la parte de la estructura general de modo que soporte un número elevado de carga y que a la vez tenga un sobredimensionado con el objetivo que cumpla con una seguridad para los deportistas. El otro perfil que se ha seleccionado es el de 38x38 y calibre 11, este ha sido seleccionado para la parte donde van a reposar las poleas ya que la carga con la cual se va a trabajar es menor.

Estos perfiles permiten una manipulación amplia, en este caso, se necesitan que se mecanicen sobre ellos unos agujeros de 20 mm de diámetro.

## 8 Proceso de fabricación

### 8.1 Selección proceso de fabricación

Para la selección del proceso de fabricación se ha utilizado el programa Granta EduPack, este programa, además de permitirte seleccionar materiales, también ofrece la posibilidad de seleccionar el proceso de fabricación mediante las restricciones que apliques en función del tipo de proceso que sea, es decir, si es un proceso de unión, un proceso el cual le des una forma al material o un tratamiento superficial.

Este caso el cual queremos abordar se trata de perfil hueco, por lo tanto, se ha seleccionado la opción de proceso de formado (*shaping process*).

En primer lugar, se han designado las características finales del material, es decir, la forma que tiene, si es un sólido, sólido hueco o si se trata de un prisma circular.

Se ha seleccionado la opción de *hollow 3D*, es decir, una pieza que sea hueca, como es el caso de estos perfiles PTR, son perfiles 3D que son huecos en su interior.

A continuación, se van a abordar los atributos físicos de estos perfiles, la masa que pueden llegar a tener, la rugosidad e incluso el espesor y más. Como algunos de estos no se tratan de condiciones necesarias u obligatorias se ha decidido aplicar un máximo de masa de 50 kg, los perfiles no superarán esta masa, un mínimo de espesor de 3 mm y una tolerancia de 0.1 mm.

El rango de masa ha sido obtenido mediante el peso que marca nuestro perfil por cada metro, por lo tanto, se ha considerado el máximo 50 ya que más que este es algo complicado en este tipo de perfiles. En cuanto a la tolerancia, se ha objetado ese mínimo de acabado para que los agujeros que estos perfiles ajusten bien y finalmente un rango mínimo de espesor ya que estos perfiles cuentan con un espesor de 3 mm, por lo tanto, el proceso de fabricación tiene que poder llegar mínimo a estos límites.

Finalmente se han designado las características del proceso, si se trata de un proceso en el que conformamos una pieza desde cero o el cual se le da una forma únicamente. Además, se debe indicar si se trata de una pieza que se trabaje de manera continua o con ciertas unidades.

Se trata de un proceso secundario que, como se ha explicado, son aquellos procesos que le dan forma al material, en este caso de una tocho de acero se quiere conseguir una lámina con un espesor específico. También se ha marcado como un proceso discreto ya que no son piezas que se hagan de manera continua sino con una demanda en concreto dependiendo de la longitud que desee el cliente.

Finalmente, esto nos ha llevado a que el proceso el cual se emplea para este tipo de perfiles es el de laminado en frío y contrastando con diferentes proveedores de estos para confirmar esta opción. Este tipo de perfiles una vez se han laminado, se deben soldar para conformar el perfil con una soldadura eléctrica de alta frecuencia.

## 8.2 Laminado en frío

El laminado en frío se trata de un proceso de fabricación el cual deforma de manera continua el material, en este caso metales, principalmente el acero, pero también se trabaja con hierro, cobre aluminio y sus aleaciones. El laminado en frío se produce a temperatura ambiente consiguiendo una recristalización del metal.

A partir de un trozo de metal, mediante unos rodillos, se va manipulando de manera que quede uniforme a la vez que se le reduce el espesor. A pesar de que existe otro tipo de laminado, trabajando en frío nos permite incrementar propiedades del material como pueden ser la elasticidad, la resistencia o la dureza entre muchos otros.

A continuación, se van a describir unas ventajas y desventajas de este proceso.

Ventajas:

- Potencia las propiedades mecánicas
- Aumenta la vida útil de las piezas
- Gran tolerancia dimensional
- Posee mayor dureza y elasticidad

Desventajas:

- Disminuye la resistencia a la corrosión
- Las formas que permite son limitadas
- Puede provocar un comportamiento anisotrópico
- Riesgo de deformaciones

Por el tipo de pieza que se va a utilizar en el desarrollo de este proyecto, podemos apreciar que las ventajas pesan frente a las desventajas ya que estas últimas no son significativas para nuestro uso en la jaula de potencia.

Este proceso, aparte de la aplicación que en este proyecto demanda, tiene muchas otras como en el sector del automovilismo, electrodomésticos, engranajes, anclajes, pernos de máquinas y muchos otros más.

## 9 Diseño y descripción final

A continuación, se va a proceder a la descripción y desarrollo del diseño final, explicando exhaustivamente el porqué de todos los elementos y la finalidad que tienen cada uno de ellos.

El diseño de la presente jaula de potencia que abarca este proyecto ha sido modelizado en el programa de CAD llamado “Autodesk Inventor Profesional”. Se trata de un programa de modelaje 3D que nos permite realizar todo tipo de piezas y que contiene opciones muy interesantes que nos han llevado a su uso.

En primer lugar, se decidieron las medidas que debería tener esta jaula, por lo cual se empezó por la estructura, de modo que primeramente se fuese dando forma al diseño y que eso sirviese de ayuda para su desarrollo.

Las medidas y cálculos de los siguientes elementos se encuentran en “Anejo 2 Planos” y “Anejo 1 Cálculos” respectivamente.

### 9.1 Diseño de los perfiles

Estos perfiles (Ilustración 5) se han diseñado de acuerdo con la norma de los perfiles PTR, se trata de perfiles de 50.8x50.8mm con un espesor de 3.04mm. Son los perfiles principales de la estructura, los que mantienen la estructura rígida y los responsables de mantener la estructura en pie.

Se disponen de 4 perfiles. Uno en cada esquina sobre los cuales se anclan diferentes elementos como la barra de seguridad o la barra de dominadas.

La longitud de estos perfiles es de 2200mm, estas barras necesitan una altura considerable para el desarrollo de la máquina con la incorporación de poleas. Además, como se puede observar, este perfil contiene unos agujeros de 20mm de diámetro, con una separación de 100mm entre centros. Estos agujeros tienen la función de poder variar la barra de seguridad 19 niveles, el nivel dependerá de la estatura de la persona, así como del ejercicio que se esté realizando en cada momento. El diámetro de 20mm viene definido por el perfil, en estas máquinas, los perfiles de este tamaño no pasan (mayoritariamente) este diámetro para asegurarnos de la resistencia del perfil.

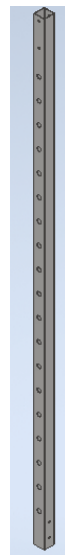


Ilustración 5: Perfiles de la estructura laterales

Estos perfiles (Ilustración 6) tienen las mismas características que el nombrado anteriormente, tiene diferente función, ya que estos son parte del apoyo de la estructura, existen dos como estos, uno a cada lateral. La medida de estos perfiles es de 1450mm.

Los agujeros que se encuentran en los perfiles se tratan de agujeros para los elementos de unión, que, en este caso, son tornillos.

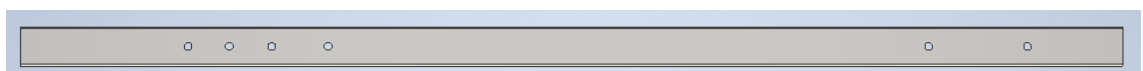


Ilustración 6: Perfiles de apoyo laterales

Junto con otro perfil de apoyo trasero, ya que como veremos adelante, se disponen de 2, también forma parte del apoyo de la estructura, y como en los anteriores, se trata de un PTR 50.8x50.8mm (Ilustración 7).

También se encuentra en la parte superior de la jaula un perfil del mismo tamaño que el que se muestra en la (Ilustración 7).



Ilustración 7: Perfil de apoyo trasero

El perfil (Ilustración 8), el cual sigue las mismas características de los demás, es sobre el cual ira anclada la barra de dominadas mediante uniones atornilladas como se puede observar en la imagen.

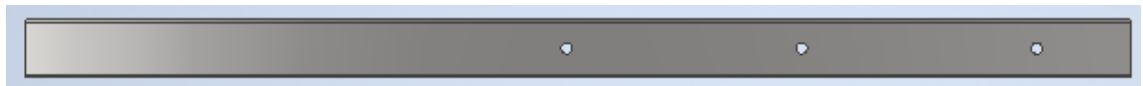


Ilustración 8: Perfil lateral superior

## 9.2 Barras de seguridad

Las jaulas de potencia están dotadas de unas barras de seguridad, las cuales se coloca en los laterales de la jaula de potencia, estas tienen la función de reposar la barra y en caso de que la persona que este realizando el ejercicio no puede seguir levantando el peso que tenga la tranquilidad de poder reposarla sobre estas barras sin necesidad de ayuda y sin peligro alguno de que la barra se le pueda caer encima.

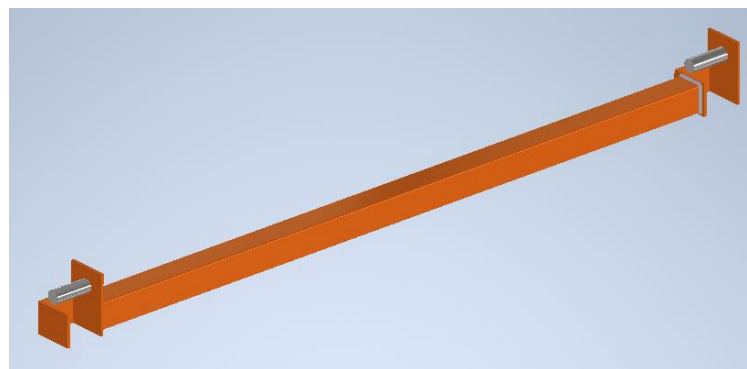


Ilustración 9: Barra de seguridad

Como se puede observar (Ilustración 9), esta barra tiene en sus dos extremos soldado unas piezas que son indispensables para su funcionamiento. Estas piezas (Ilustración 10) las cuales tienen un cilindro y que se encuentran en ambos lados del perfil, se insertarán en los agujeros de 20 mm de los perfiles. Cada persona la colocará en la altura que considere necesaria, pero es un objeto indispensable en las jaulas de potencias, ya que si no la persona no podría llegar hasta el fallo muscular por miedo a su integridad física o por el contrario que el deportista intentara esto y se viese dañado.

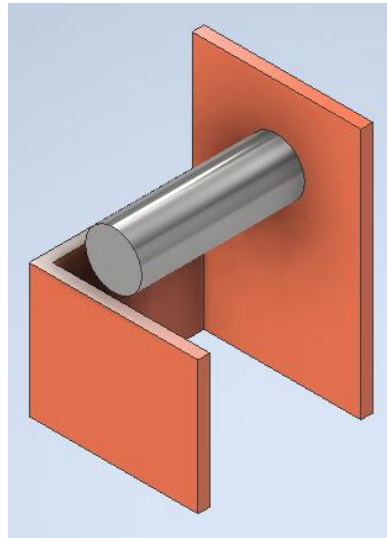


Ilustración 10: Pieza de apoyo barra de seguridad

Esta barra tiene un perfil PTR de 38x38mm, con una longitud de 998,4mm y del material seleccionado anteriormente.

### 9.3 Barra de dominadas

En cualquier jaula de potencia se debe diseñar este objeto, una barra de dominadas, colocada en la parte delantera de la jaula. Como su nombre indica esta sirve para hacer dominadas. Se pueden realizar de cualquier tipo de modo que involucre diferentes músculos de cuerpo humano.

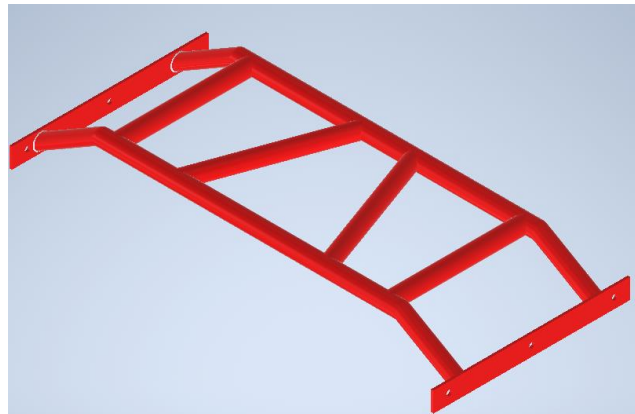


Ilustración 11: Barra de dominadas

Se trata de una barra de dominadas de acero al carbono lacado al horno, asegurándonos una solidez y seguridad óptimas. Esta barra de dominadas tiene un perfil circular de 40mm y como no puede ser de otra manera tiene una longitud de 1078.4mm, de modo que abarque el interior de la jaula de potencia, tiene un peso de 14,6 kg.

Este tipo de barra de dominadas permite diferente tipo de agarre, cerrado o abierto, exterior o interior, de modo que se pueda adaptar mejor a la preferencia del deportista.



El anclaje seleccionado para esta barra es mediante tornillos al perfil, 3 a cada lado de la barra.

#### 9.4 Anclajes

Los anclajes son las piezas diseñadas con la finalidad de amarrar las distintas piezas a la estructura de manera que queden totalmente fijas y sin juego alguno.

En este apartado se van a abordar varios tipos de anclaje, ya que, dependiendo de la pieza, las dimensiones de esta y su configuración se ha requerido diseñar diferentes tipos para que cada uno se ajuste perfectamente en su posición.

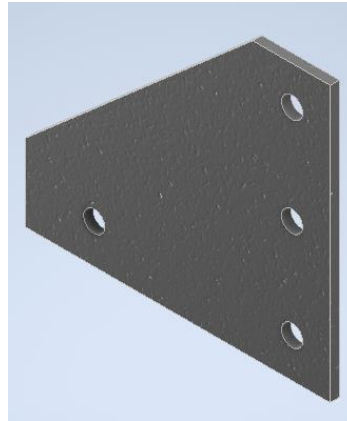


Ilustración 12: Escuadra para perfiles

Estas escuadras (Ilustración 12) han sido diseñadas para la unión de los perfiles horizontales que están en contacto con la superficie con los perfiles verticales (Ilustración 13) de la jaula de potencia. Estas uniones tienen que ser rígidas ya que son gran parte de la estructura de estas jaulas.

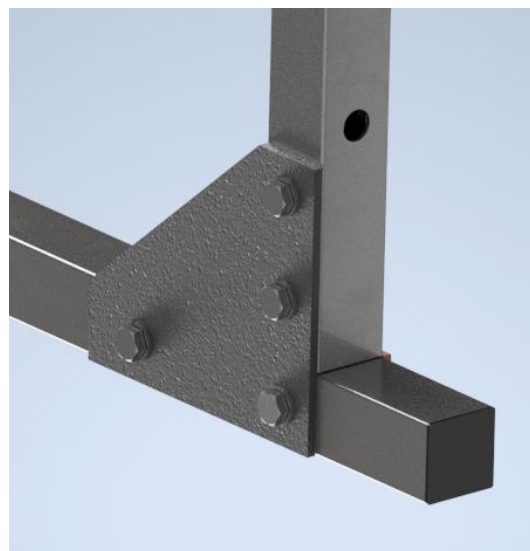
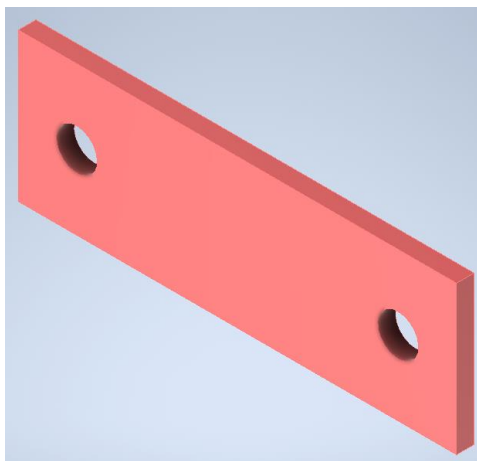


Ilustración 13: Escuadra ensamblada

Estas escuadras son de acero que posteriormente se le aplica un cincado para evitar la corrosión y oxidación de estas, de modo que no de lugares a desperfectos por estos factores. El

espesor de estas escuadras es de 6mm, es un espesor prácticamente normalizado, es decir, las chapas suelen tener estas medidas con una tolerancia de 1mm. Como se puede apreciar están atornilladas a la barra del perfil vertical y a la horizontal, 2 a 2 para que exista un buen agarre.

Además de las escuadras anteriores, se han diseñado otro tipo de chapas las cuales irán soldadas a los perfiles y estas unidas a otros perfiles mediante tornillería.



*Ilustración 14: Chapas soldadas*

Se trata de chapas de 6mm que como se ha dicho se disponen soldadas a los perfiles y en el otro lado del perfil se colocará otra para que conjunto con los tornillos estas hagan un buen agarre de los perfiles ( Ilustración 15) y permitir una buena fijación.

El material de estas chapas es acero y con un baño de zinc del mismo modo que las escuadras.



*Ilustración 15: Chapa ensamblada*

### 9.5 Spotters

Se trata de otro accesorio que muchas máquinas, no solo las jaulas de potencia tienen incorporados. La función de este objeto es la de reposar sobre ella la barra, en cierta parte, cumple

una función similar a la de la barra de seguridad comentada anteriormente, pero en este caso no sirve por seguridad, si no, es el lugar donde se apoya la barra una vez terminado el ejercicio.

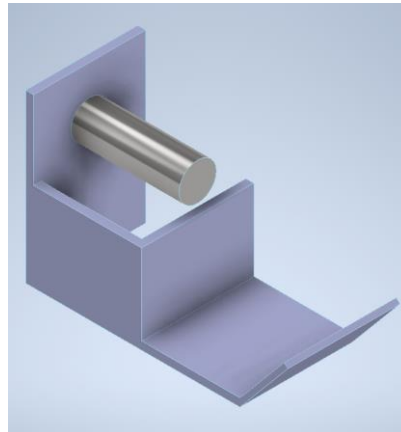


Ilustración 16: Spotter

Se trata de un objeto de acero al carbono que se inserta en los agujeros del perfil adaptándolo a la altura correspondiente para uno mismo.

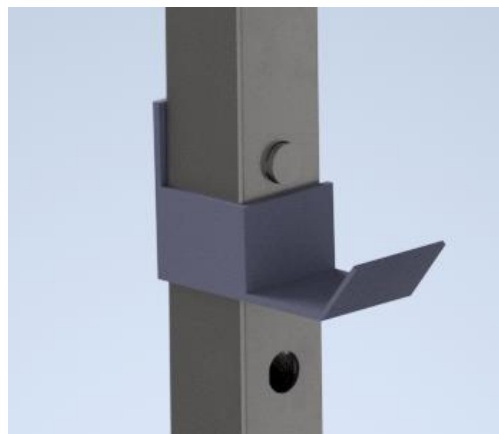


Ilustración 17: Spotter en máquina

En la imagen anterior (Ilustración 17), podemos observar cual es el funcionamiento de este objeto, que es el de poder reposar la barra, se puede colocar tanto exterior como interiormente, dependiendo del ejercicio y de la comodidad y facilidad que cada persona considere.

## 9.6 Sistema de poleas

Esta máquina de gimnasio se ha pensado con la intención de que este complementada con poleas. Esto le otorga un amplio abanico de ejercicios los cuales no se traten únicamente de peso libre, que, aunque son muy efectivos, pueden llegar a ser monótonos. En el entrenamiento es interesante que cada un periodo de algunos meses se varíe el tipo de ejercicios de modo que se estimulen otras zonas de los músculos y nos permita un progreso más efectivo. Todas estas razones son las que han llevado a la incorporación de un sistema de poleas completo.

Como bien es conocido, las poleas son elementos que nos permiten realizar un trabajo con la ventaja de reducir el esfuerzo que se requiere para levantar una carga. Pero en las máquinas de gimnasio la finalidad no es la misma, la utilidad interesante es que nos permita levantar cargas

de manera efectiva para nuestros músculos y de manera segura y cómoda, sin dar opción a posibles lesiones musculares.

En el caso que concierne este proyecto, se trata de un sistema de poleas que trabaja de manera conjunta necesariamente para su correcto funcionamiento, pues tiene dos circuitos de poleas que cada uno tiene su función, pero trabajando cooperativamente.

Las poleas que se van a incorporar en la máquina son las de la (Ilustración 18), como se puede observar son dos circuitos de poleas, podemos trabajar en polea alta y polea baja. La polea alta funcionara de modo que una vez se aplique la fuerza, como se observa, el cable está conectado directamente con la pieza que tiene dos cilindros que es donde se pondrán los discos necesarios por el deportista, por tanto, se levantara el peso que queremos realizar. Sin embargo, la polea baja tiene un cable el cual únicamente está anclado con un gancho para su amarre, pero una vez que la polea baja se ponga en funcionamiento las poleas que se encuentran suspendidas en el aire bajaran de manera conjunta y esto hará que active la polea superior y suba el peso, es decir, en este caso trabajan ambos circuitos.

Los cables precisan de un bloqueo en el extremo superior e inferior que generaran una tensión para que el cable no se descarrile, es decir, para que el cable se mantenga en tensión y funcione el circuito correctamente.

Este circuito nos permite que con un solo sistema podamos transformarlo en dos sin la necesidad de tener dos estaciones de poleas.



*Ilustración 18: Sistema de poleas*

Estos circuitos de poleas no pretenden reducir el esfuerzo, si no que la relación sea 1 a 1, si esto ocurriese y redujesen mucho la fuerza necesaria a realizar se necesitarían muchos discos o mucho peso y no sería viable trabajar con este mecanismo, por lo tanto, la finalidad es la de poder realizar ejercicios variados y con una comodidad para los músculos.

#### 9.6.1 Poleas seleccionadas

Las poleas seleccionadas son unas poleas que se usan con cables de acero recubiertos de plástico y que están fabricadas para este tipo de usos. (BH, s.f.)



Ilustración 19: Poleas BH 90mm

Se trata de unas BH de 90mm, poleas de rodamiento universal:

Tabla 4: Especificaciones técnicas polea

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| <b>Diámetro exterior</b>             | 90 mm   |
| <b>Diámetro interior del agujero</b> | 10 mm   |
| <b>Espesor del rodamiento</b>        | 24 mm   |
| <b>Profundidad de la ranura</b>      | 10.8 mm |
| <b>Ancho de la ranura</b>            | 10.2 mm |
| <b>Capacidad de carga</b>            | 300 kg  |

El material de esta polea es el nylon y este es el responsable de que permita cargas de hasta 300 kg. Además, son resistentes frente a la fricción y muy silenciosas, finalmente, poseen un alta rendimiento de seguridad y de fácil instalación.

#### 9.6.2 Selección del cable

Las poleas de gimnasio, que es el caso que nos concierne, no se utilizan bandas ni correas, estas trabajan con un cable de acero y recubierto de un plástico que varía dependiendo del proveedor, esto se utiliza ya que estos cables tienen una mayor resistencia entre otras cosas.

Por lo tanto, se ha seleccionado un cable comercial utilizado en estas ocasiones. Se trata de un cable de acero de 3 mm recubierto con poliamida haciendo un total de 5 mm de cable. (solutions, s.f.)

Tabla 5: Datos técnicos

|                           |                                |
|---------------------------|--------------------------------|
| Descripción               | POLIAMIDA NEG. FLEXIBLE 3X5 MM |
| Certificación             | UNE-EN 1385-4                  |
| Diámetro (acero)          | 3 mm                           |
| Carga de rotura           | 5.29 kN (539 kg)               |
| Arrollamiento             | sZ                             |
| Resistencia a la tracción | 1770 N/mm <sup>2</sup>         |
| Alma                      | IWRC                           |

Además, estos cables disponen de unos bloqueos (Ilustración 20) que, como hemos comentado antes son fundamentales, ya que estos ejercen una tensión en sentido contrario y sin ellos el cable se saldría de la polea y nuestro sistema de poleas nunca funcionaría.



Ilustración 20: Bloqueo del cable

## 9.7 Diseño completo

Con este diseño (Ilustración 21 y Ilustración 22) se ha pretendido que esta jaula sea suficiente como para poder tener un entrenamiento completo y satisfactorio. El avance de implementar poleas en este tipo de máquinas resulta innovador y eficiente.



Ilustración 21: Diseño jaula de potencia



Ilustración 22: Diseño jaula de potencia

#### 9.7.1 Medidas generales

Estas medidas han sido decididas por razones que tienen que ver con el/la deportista que está realizando y con los objetos que se van a utilizar en esta jaula de potencia.

El ancho de la jaula de potencia midiendo desde los interiores, es decir, la medida de 1078.40mm se ha decretado teniendo en cuenta una barra olímpica de 20kg de gimnasio.

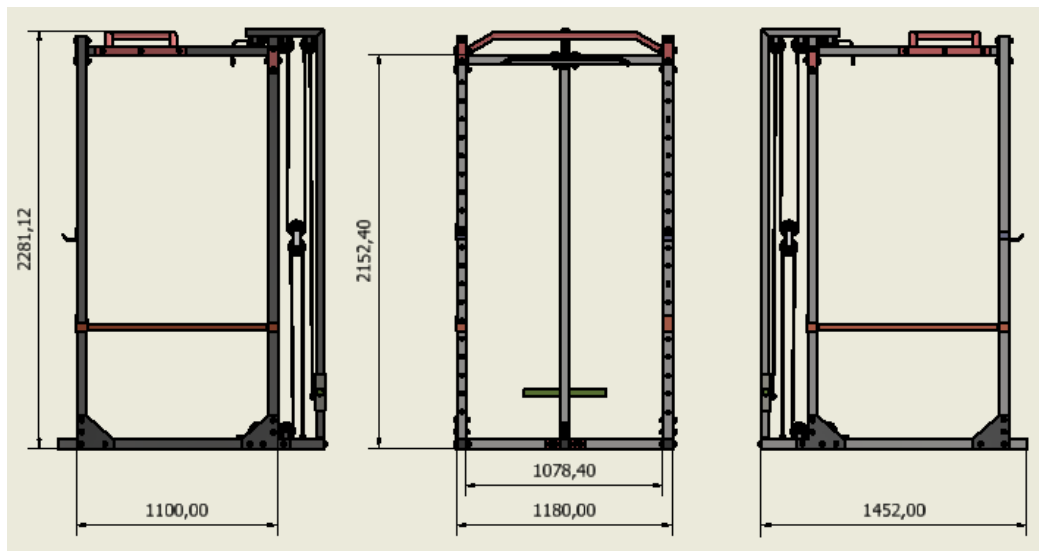


Ilustración 23: Medidas generales jaula de potencia

La barra en la zona que permite el agarre es de 1310mm, es decir, debemos de dejar una distancia menos que esta ya que, para que pueda reposar correctamente sobre los *spotters* debe reposar en la zona de los 1310mm, una vez terminan estos, el radio de la barra aumenta significativamente y sería imposible que esta pudiese reposar sobre estos *spotters*. Por lo tanto, el ancho ha sido marcado principalmente para trabajar con estas barras.

Aunque existen otras barras más pequeñas, los ejercicios que se realizan con barras son ejercicios pesados, y aunque no todos puedan levantar mucho peso, se ha estudiado que desde el lado de la comodidad es más fácil trabajar con la barra únicamente que con una barra de menos peso y que debas añadir peso. Además, te supone un ahorro económico el hecho de trabajar con solo una barra. Por lo tanto, estas conclusiones han llevado a elegir el tamaño del ancho de la jaula de potencia.

En cuanto al resto de medidas, la altura se ha decretado realizando un estudio de mercado, analizando las medidas de las diversas jaulas de potencia y cual interesa para el caso que se está trabajando. En cualquier caso, se trata de medidas que debe permitir a cualquier persona entrenar, por lo que una altura de 2281mm es correcta para un escenario más amplio de deportistas.

En el caso del largo de la jaula, refiriéndonos a la zona útil de trabajo de 1100mm, al igual que en el caso anterior, se ha realizado otro estudio de mercado, que medidas son las que existen y, en la mayoría, rondan este tipo de largarías.

Generalmente, cuando nos referimos a jaulas de potencia, tienen unas medidas que aun que puedan variar, siempre hay un rango de medidas “normalizadas” que se ajustan de manera perfecta a los deportistas.

En cuanto al peso de la jaula de potencia, se ha calculado teniendo en cuenta la longitud total de perfil, añadiendo la barra de dominadas y los accesorios que este lleva como las poleas, cables y *spotters*.

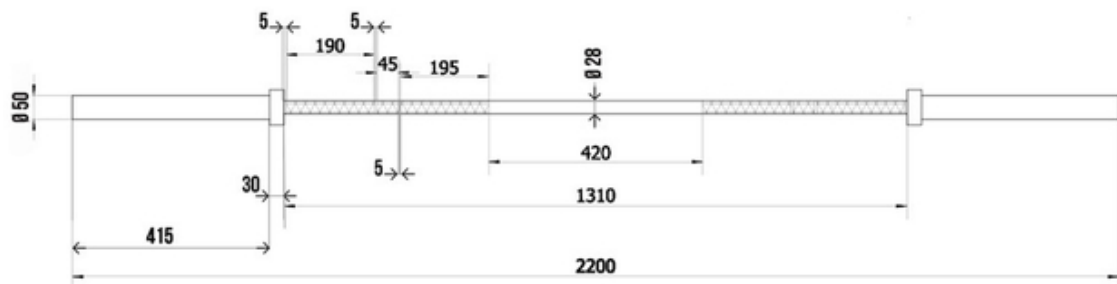


Ilustración 24: Barra olímpica de 20 kg

Con la ayuda de los datos (Ilustración 25) (Ilustración 26), se ha podido calcular el peso total de la jaula de potencia. Hay 18,1 m del perfil de 50.8x50.8, 5m del perfil de 38x38 y se le ha añadido el peso de la barra de dominadas y accesorios.

Ecuación 1: Peso total jaula de potencia

$$\left(18,1(m) \times 4,55\left(\frac{kg}{m}\right)\right) + \left(5(m) \times 3,33\left(\frac{kg}{m}\right)\right) + 25(kg) + 10(kg) = 134 \text{ kg}$$

$$\text{Total peso jaula de potencia} = 134 \text{ kg}$$



Los cálculos realizados se han analizado con pesos de máximo 350 kg, por lo tanto, este peso será el máximo que deberá soportar la jaula de potencia. (electroforjados, s.f.)

| Ancho         |             | Espesor |      | Peso   | Peso x pieza |
|---------------|-------------|---------|------|--------|--------------|
| pulg.         | mm.         | Calibre | mm.  | Kg./m. | 6 mts (Kg)   |
| 1 1/4 x 1 1/4 | 31.7 x 31.7 | 14      | 1.89 | 1.78   | 10.68        |
| 1 1/2 x 1 1/2 | 38.1 x 38.1 | 14      | 1.89 | 2.18   | 13.08        |
|               |             | 12      | 2.66 | 2.96   | 17.76        |
|               |             | 11      | 3.04 | 3.33   | 19.98        |
|               |             | 9       | 3.80 | 4.02   | 24.12        |

Ilustración 25: Tabla datos perfiles 38,1x38,1 mm/ Fuente: Aceros electro forjados

| Ancho |             | Espesor |      | Peso   | Peso x pieza |
|-------|-------------|---------|------|--------|--------------|
| pulg. | mm.         | Calibre | mm.  | Kg./m. | 6 mts (Kg)   |
| 2 x 2 | 50.8 x 50.8 | 12      | 2.66 | 4.05   | 24.30        |
|       |             | 11      | 3.04 | 4.55   | 27.30        |
|       |             | 9       | 3.80 | 5.56   | 33.36        |
|       |             | 1/4     | 6.35 | 8.03   | 48.20        |

Ilustración 26: Tabla datos perfiles 50,8x50,8 mm/ Fuente: Aceros electro forjados

## 9.8 Uniones

En este proyecto se han empleado dos tipos de uniones, la soldadura y la tornillería, se trata de uniones muy comunes y útiles.

La soldadura ha sido utilizada para la unión entre las pletinas y los perfiles PTR de acero, que a la vez estos se anclaran a otros perfiles mediante tornillería (Ilustración 278).

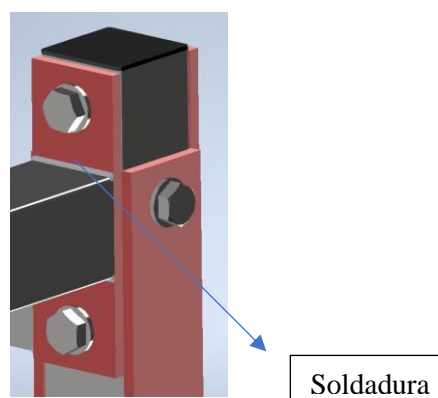


Ilustración 27: Perfil soldado y atornillado

A continuación, se explicará que tipo de soldadura es la elegida e idónea para este tipo de material y piezas al igual que se especificara la tornillería utilizada en los perfiles huecos.

### 9.8.1 Soldadura MAG

La soldadura MAG (*Metal Active Gas*) se lleva a cabo mediante un arco eléctrico, en el que un electrodo de hilo es fundido bajo una cubierta de un gas protector, este gas es el dióxido de carbono. Este proceso ofrece mucha diversidad de posibilidades pudiendo unir la mayoría de los materiales.

Este tipo de soldadura es muy parecida que la MIG (*Metal Active Gas*), pero la soldadura MAG se utiliza preferiblemente en aceros aleados o no aleados, que es nuestro caso, la jaula de potencia es íntegramente de acero, por lo tanto, esta técnica de soldadura ha sido considerada la más apropiada.

Ventajas de la soldadura MAG:

- Se puede soldar en todas las posiciones.
- Buen acabado.
- Espesores de máximo 6 mm.
- No es una técnica que requiera una amplia habilidad.
- Calidad muy alta.
- Permite depositar gran cantidad de metal al contrario del electrodo revestido.

Existen otros tipos de soldadura que pueden encajar para este tipo de materiales y piezas, pero tras una búsqueda se ha decretado por las características que se han ido describiendo anteriormente, que es la más apropiada para esta jaula de potencia.

### 9.8.2 Tornillería

La unión de perfiles huecos con tornillería se emplea de una manera concreta, ya que al ser hueco la rosca tiene efecto nulo sobre el perfil si no se aplican otro tipo de elementos.

Los tornillos empleados son hexagonales que siguen la norma DIN 931/ISO 4014 (MÉTRICO). (Entaban, Entaban, s.f.)

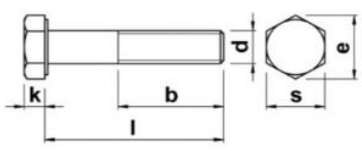
| Cincado                  |                                    | Calidad 8.8  |    |    |      |      |     |      |     |     |
|--------------------------|------------------------------------|--|----|----|------|------|-----|------|-----|-----|
| d                        | Métrica del tornillo               |  |    |    |      |      |     |      |     |     |
| k                        | Altura de la cabeza                |  |    |    |      |      |     |      |     |     |
| s                        | Distancia entre caras (llave)      |  |    |    |      |      |     |      |     |     |
| b                        | Longitud rosca                     |  |    |    |      |      |     |      |     |     |
| b <sub>a</sub>           | Hasta 125mm (incl)                 |  |    |    |      |      |     |      |     |     |
| b <sub>b</sub>           | De 125 a 200mm (incl)              |  |    |    |      |      |     |      |     |     |
| b <sub>c</sub>           | Desde 200mm                        |  |    |    |      |      |     |      |     |     |
| l                        | Longitud seleccionada (sin cabeza) |  |    |    |      |      |     |      |     |     |
| Cotas en milímetros (mm) |                                    |  |    |    |      |      |     |      |     |     |
| d                        | M4                                 | M5   | M6 | M7 | M8   | M9   | M10 | M12  | M14 | M16 |
| k                        | 2,8                                | 3,5  | 4  | 5  | 5,5  | 6,25 | 7   | 8    | 9   | 10  |
| s                        | 7                                  | 8  | 10 | 11 | 13   | 15   | 17  | 19   | 22  | 24  |
| b <sub>a</sub>           | 14                                 | 18   | 18 | 20 | 22   | 22   | 26  | 30   | 34  | 38  |
| b <sub>b</sub>           | -                                  | 22   | 24 | 26 | 28   | 28   | 32  | 36   | 40  | 44  |
| b <sub>c</sub>           | -                                  | -  | -  | -  | -    | -    | 45  | 49   | 53  | 57  |
| paso                     | 0,7                                | 0,8  | 1  | 1  | 1,25 | 1,25 | 1,5 | 1,75 | 2   | 2   |

Ilustración 28: DIN 931/ISO 4014/ Fuente: Entaban

La métrica seleccionada ha sido la M12, esto se debe a que nuestro perfil es de 50.8x50.8mm y este calibre 11 trabaja con tornillería de esta métrica, es el tamaño óptimo ya que por sus dimensiones ejerce la presión suficiente.

En los perfiles tubulares, los tornillos trabajan con una arandela para un funcionamiento más correcto.

La arandela seleccionada es de tipo plana según la norma DIN 125/ ISO 7089-7090 (MÉTRICO). (Entaban, Entaban, s.f.)

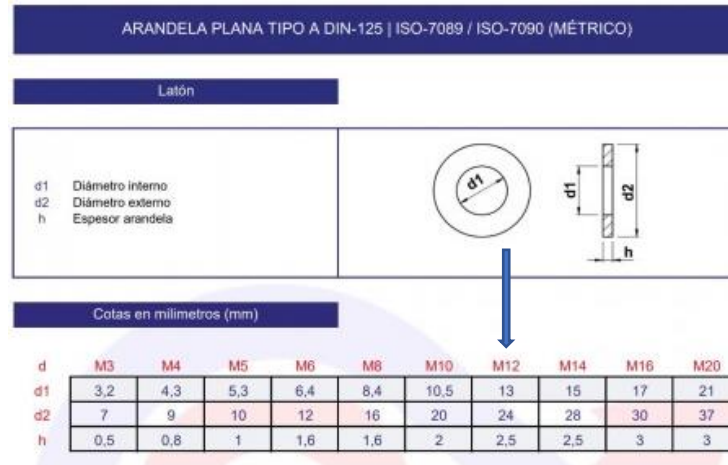


Ilustración 29: DIN 125/ ISO 7089-7090/ Fuente: Entaban

Al igual que el tornillo, la arandela seleccionada ha sido M12, son las arandelas que se ajustan con este tipo de tornillos.

Y finalmente, en estos perfiles, se colocan pletinas a ambos lados del perfil, una que es la soldada a el perfil y al lado opuesto otra pletina que ira anclada por una tuerca mediante el mismo tornillo, de modo que el tornillo hará una presión en un lado y la tuerca en el opuesto, permitiendo el anclaje de estos perfiles (Ilustración 30).

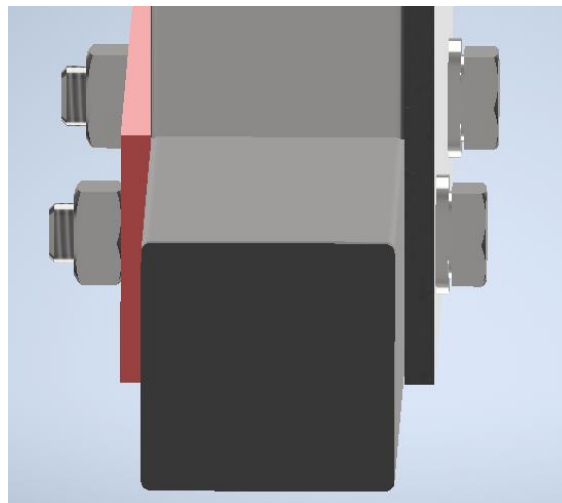


Ilustración 30: Unión perfiles

La tuerca que se ha escogido para estas uniones son tuercas hexagonales según la norma DIN 934/ ISO 4032 (MÉTRICO). (Entaban, Entaban, s.f.)

**TUERCA HEXAGONAL DIN-934 | ISO-4032 (MÉTRICO)**

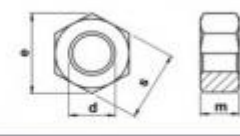
|  | Pavonado   |      | Calidad 8/10/12 |       |       |       |       |      |      |      |
|--|--|------|-----------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| <p>d Métrica tuerca<br/>e Distancia entre puntas<br/>s Distancia entre caras (flave)<br/>m Espesor</p> |  |      |                 |       |       |       |       |      |      |      |
| <b>Cotas en milímetros (mm)</b>  |  |      |                 |       |       |       |       |      |      |      |
| d  | M3   | M4   | M5              | M6    | M7    | M8    | M9    | M10  | M11  | M12  |
| e  | 6,01   | 7,66 | 8,79            | 11,05 | 12,12 | 14,38 | 16,33 | 18,9 | 19,5 | 21,1 |
| s  | 5,5  | 7    | 8               | 10    | 11    | 13    | 14    | 17   | 17   | 19   |
| m  | 3,2  | 3,2  | 4               | 5     | 5,5   | 6,5   | 7     | 8    | 8    | 10   |
| peso   | 0,5  | 0,7  | 0,8             | 1     | 1     | 1,25  | 1,25  | 1,5  | 1,5  | 1,75 |

Ilustración 31: DIN 934/ ISO 4032/ Fuente: Entaban

El resultado final de este conjunto total de unión (Ilustración 32).

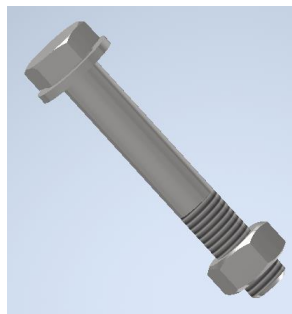


Ilustración 32: Tornillo completo

## 10 Metodología de cálculo

La metodología de cálculo empleada ha sido diversa, por una parte, se ha calculado a mano y mediante el programa Autodesk Inventor los esfuerzos que existen en las barras, así como los momentos y deformaciones. Además, se ha hecho un estudio de donde podrán estar las cargas repartidas y si los perfiles son suficientemente capaces como para soportar los momentos máximos en las barras.

Como se ha descrito durante la memoria del proyecto, también se han realizado los cálculos oportunos de las poleas, asegurando que estas funcionan y cómo se comportan frente a una fuerza.

Para el cálculo de los perfiles, con la ayuda de Autodesk Inventor:

-Se ha ensamblado la estructura con los perfiles y longitudes correspondientes, desde la opción que permite el inventor de ensamblar desde el centro de contenido donde hay una biblioteca llena de perfiles de diferentes tipos y dimensiones.

-Ahora sobre la pestaña de entornos se ha seleccionado cálculo de estructura, una opción que posee el Inventor, que ha sido la utilizada ya que es muy completa, donde nos muestra diferentes tipos de resultados como pueden ser las reacciones o los momentos flectores de los perfiles.

- El siguiente paso es introducir las restricciones, es decir, en este caso, que parte de la estructura está en contacto con la superficie de modo que estará fija. En este caso no hay patas ni apoyos, son los mismos perfiles inferiores los que reposarán sobre la superficie.

-Se proceden a introducir las cargas, por lo tanto, en este aspecto se han hecho varios estudios, en el que cada estudio pertenece a un posible ejercicio, de modo que hará varias las cargas. También se introduce la fuerza de la gravedad en el centroide de la estructura.

-Una vez ya se han colocado todos los parámetros necesarios para definir nuestra jaula de potencia completamente, se ha procedido a la simulación. Esta simulación nos genera todos los resultados, esfuerzos, momentos, deformaciones y tensiones. Además, nos proporciona las gráficas correspondientes,

-Estos cálculos de Inventor han sido comparados a mano, y aunque hay unas diferencias, los resultados no varían más de un 5%, y las gráficas pertenecen a perfiles empotrados, por tanto, se aceptarán ambos como correctos.

Para el cálculo de las poleas:

-Para cálculo de poleas se ha realizado un análisis de fuerzas en cada una de las poleas, estudiando que ocurre en cada una y cuáles son las fuerzas o tensiones que albergan, esto nos ha permitido conocer la función de la polea, que ha sido la que estábamos buscando y asegurándonos que esta funcione correctamente.

-Finalmente asegurarnos que el peso con el que trabarán estas poleas es soportado tanto como por las mismas poleas como por el cable de acero.

## 11 Análisis de viabilidad

Se procederá a realizar un análisis sobre la viabilidad de este proyecto en diferentes aspectos, técnicos, económicos etc. Con este se pretende analizar si el proyecto tiene fundamentos para su fabricación.

### 11.1 Viabilidad técnica

En este aspecto, el problema técnico es muy viable, hoy en día existen infinidad de ingenieros técnicos (eléctricos, mecánicos, informáticos, etc.), de modo que con los conocimientos previos adquiridos por los anteriores profesionales comentados nos permitirán llevar al desarrollo del diseño y estudio de la jaula de potencia. Además, la tecnología se encuentra a pie de calle, esto facilitará este tipo de procesos de modo que sean más factibles.

Por lo tanto, este tipo de viabilidad es uno de los más factibles para este análisis.

### 11.2 Viabilidad económica

En cuanto la viabilidad económica, después de realizar el presupuesto, se trata de una jaula de potencia que casi alcanza los 4.000€ de precio total. Pero este precio tiene unas desventajas, el presupuesto se ha realizado contando que se quiere llevar a cabo el proyecto de la máquina, pero hoy en día no puedes comprar materiales en cantidad exacta, se compran en lotes, por lo que si se tratase de una máquina que tuviese una venta en el mercado el precio bajaría razonablemente.

Hoy en día, la situación económica no es favorable, se ha producido una inflación en el Reino de España del 10,2% (Fariza, 2022), en el sector industrial esta inflación afecta considerablemente, de ahí que el precio de la máquina se vea incrementado.

Sin hacer exceso hincapié en los fenómenos descritos anteriormente, esta máquina podría venderse a un precio mucho más considerable.

### 11.3 Viabilidad del mercado

Este tipo de viabilidad es uno de los cuales ha llevado a la realización de una jaula de potencia, después de 2 años de un confinamiento intenso, mucha gente se vio limitada para seguir realizando deporte en casa a un buen nivel, con esta jaula se ha pretendido resolver esa falta de material de las personas en los hogares, Y no solo eso, si no que esta máquina tiene la capacidad de sustituir completamente la necesidad de pagar una cuota mensual, produciendo una amortización a los pocos años de obtenerla.

Además, se produjo un aumento de la venta de material de gimnasio, como mancuernas, a precios desorbitados y que no te permiten una gran variedad de ejercicios si no van acompañados de otras herramientas. De modo que, la jaula de potencia se analizó como una oportunidad excelente para su futura venta.

### 11.4 Viabilidad legal

En cuanto a la viabilidad legal del proyecto, se trata de una máquina de fitness, por lo tanto, se han cumplido las normativas que estas imponen de modo que la seguridad esté garantizada en todo momento.

## 12 Presupuesto

Para la realización del presupuesto se ha utilizado una hoja de cálculo, ya que, tras revisar varios programas, esta era la que más se podía adaptar a nuestras necesidades.

Los precios, se han sacado de diversas fuentes, algunas consultando páginas de internet que tenían el precio público, y en otras ocasiones se ha tenido que contactar con diferentes proveedores para el conocimiento de determinados precios.

En el presupuesto se han tenido en cuenta las diferentes piezas que se necesitan, y como la máquina es de acero generalmente, se ha calculado el material necesario que se necesitase para llevar la máquina a cabo. Se ha realizado una división entre los perfiles y pletinas que harían falta, es decir, para los perfiles calculando los metros necesarios y escoger el lote que más se acercara a nuestras necesidades, en cambio, las pletinas de sujeción, se ha hecho una búsqueda de una lámina del espesor requerido para más tarde mecanizarla y poder obtener varias de una misma lamina. Por otro lado, todos los objetos de tornillería que requiere la máquina, desde los tornillos hasta las tuercas y finalmente los trabajos de diseño, mecanizado, transporte y montaje.

El precio por partida se desglosa según:

- Los materiales para la mecanización 1658,18€.
- La tornillería 87,30€.
- Las piezas de compra 155,30€.
- Los costes de fabricación (diseño, mecanización etc.) 1995€.

Con todos estos factores la suma asciende a un total de TRES MIL NOVECITOS TERINTA Y UN EUROS CON NOVENTA Y OCHO CÉNTIMOS (3.931,98€) con el IVA de los productos incluidos.

Además, se ha generado un plan de amortización para conocer el tiempo que se tardaría en amortizar la máquina respecto al hecho de ser socio de un centro de entrenamiento, los precios adoptados se han basado en los gimnasios a los cuales he sido cliente, y podemos observar cómo en 7 años y medio se amortiza la máquina del gimnasio, teniendo en cuenta que es gastada por una persona, en caso de que se dé un uso familiar, este se vería reducido a más de la mitad.

Por tanto, se puede afirmar que en caso de que el cliente compre una máquina, el tema económico es muy favorable.

Todos los datos se pueden consultar en el “Anejo 3 Presupuesto”.

## 13 Conclusiones

Como se ha podido comprobar, por medio de los diferentes documentos adjuntos a este proyecto, se ha llegado a la resolución del diseño y cálculo de una jaula de potencia.

Los objetivos de este proyecto se marcaron en la realización de una máquina de gimnasio, que se definía por un diseño acorde a las necesidades de una persona interesada en el deporte en el hogar a raíz de la cuarentena provocada por la pandemia del Covid-19, y que los cálculos realizados garantizaran un correcto funcionamiento aportando seguridad a la persona que está utilizando dicha máquina.

Durante la memoria, se puede observar como el diseño de la máquina es óptimo, eligiendo los perfiles adecuados para este tipo de estructuras que van a trabajar con altas cargas, adecuando la máquina a todo tipo de perfiles con la finalidad de ajustarse de manera correcta a sus necesidades y requerimientos. Además, se ha descrito la instalación de una estación de poleas para aumentar la variabilidad de ejercicios y hacer una máquina más completa.

En los anejos, se puede comprobar que esta estructura cumple con las cargas que esta va a soportar y se ha diseñado y calculado el sistema de poleas para su correcto funcionamiento.

Esta idea de TFG se realizó por los problemas que las personas que realizan entrenamiento de fuerza tuvieron durante la pandemia, se ha querido con esto promover el deporte y la salud física y mental para conseguir unos cuerpos y mentes sanas y contribuir con el aumento de personas a iniciarse en el deporte por su bienestar.

## 14 Bibliografía

- Acero, C. (s.f.). *Collado Acero*. Obtenido de [https://www.collado.com.mx/Views/Productos/Perfiles%20comerciales/Perfil%20Tubular%20Rectangular%20\(PTR\)](https://www.collado.com.mx/Views/Productos/Perfiles%20comerciales/Perfil%20Tubular%20Rectangular%20(PTR))
- Ángel, M. (28 de Junio de 2019). *BENEFICIOS DEL TRABAJO DE LA FUERZA MUSCULAR*. Recuperado el 26 de 07 de 2022, de BENEFICIOS DEL TRABAJO DE LA FUERZA MUSCULAR
- BH. (s.f.). *BH FITNESS*. Obtenido de <http://www.bhfitnessglobalservices.com/polea-g156083.html>
- electroforjados, A. (s.f.). *Aceros electroforjados*. Obtenido de <https://aceroselectroforjados.com/productos/perfiles-metalicos/perfil-ptr/>
- Entaban. (s.f.). *Entaban*. Obtenido de [https://entaban.es/hexagonales/139-tornillo-din-931-88-cincado-uds.html#/531-metrica\\_tornillo-4/529-longitud\\_tornillo\\_mm-30](https://entaban.es/hexagonales/139-tornillo-din-931-88-cincado-uds.html#/531-metrica_tornillo-4/529-longitud_tornillo_mm-30)
- Entaban. (s.f.). *Entaban*. Obtenido de [https://entaban.es/planas/169-arandela-plana-din-125-cincada.html#/4607-metrica\\_del\\_tornillo-3](https://entaban.es/planas/169-arandela-plana-din-125-cincada.html#/4607-metrica_del_tornillo-3)
- Entaban. (s.f.). *Entaban*. Obtenido de [https://entaban.es/hexagonales/160-tuerca-hexagonal-din-934-8-cincada-uds.html#/626-metrica\\_tuerca-3](https://entaban.es/hexagonales/160-tuerca-hexagonal-din-934-8-cincada-uds.html#/626-metrica_tuerca-3)
- Fariza, I. (29 de Junio de 2022). Economía. *ElPaís*. Obtenido de <https://elpais.com/economia/2022-06-29/la-inflacion-se-desboca-al-102-en-junio-el-mayor-nivel-en-37-anos.html#:~:text=En%20sus%20C3%BAltimas%20previsiones%2C%20el,fija%20como%20objetivo%20el%20BCE.>
- INE. (2020). *Instituto Nacional de Estadística*. Obtenido de [https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es\\_ES&c=INESeccion\\_C&cid=1259944495973&p=1254735110672&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayout&param1=PYSDetalFichaIndicador&param3=1259937499084#:~:text=Respecto%20al%20sedentarismo%2C%20a%20nivel,sedentaria%20en%20su](https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es_ES&c=INESeccion_C&cid=1259944495973&p=1254735110672&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayout&param1=PYSDetalFichaIndicador&param3=1259937499084#:~:text=Respecto%20al%20sedentarismo%2C%20a%20nivel,sedentaria%20en%20su)
- Mostoles, A. d. (2022). *Importancia del entrenamiento*. Obtenido de <https://www.mostoles.es/EspacioSaludable/es/escuela-salud/temas-salud/determinantes-salud/alimentacion/la-importancia-del-ejercicio-fisico#:~:text=BENEFICIOS%20DE%20PRACTICAR%20EJERCICIO%20F%3%8DSICO&text=Previene%20la%20p%3%A9rdida%20de%20la,sistema%20>
- MOVNAT. (2019). *La historia del fitness*. Obtenido de <https://www.entrenamientonatural.com/la-historia-del-fitness/>
- solutions, M. (s.f.). *Repuestos fitness*. Obtenido de <https://repuestosfitness.com/es/cables-poleas-y-accesorios-gimnasio/1037-cable-de-acero-plastificado-de-5mm-de-grosor-para-maquinas-de-gimnasio-a-metros.html>