



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de  
Producto

“Estudio y Diseño de un aparato biosaludable:  
El Ascensor”

Autor:

Rojo Cisneros, María

Tutor:

Mostaza Fernández, Roberto  
Departamento CMeIM / EGI / ICGF / IM / IPF

Valladolid, Junio de 2020



## AGRADECIMIENTOS

No ha sido un año fácil, dadas las circunstancias que han acontecido durante estos últimos meses. Pese a ello, este trabajo ha salido adelante gracias a una serie de personas que a continuación voy a nombrar.

Gracias a todos los profesores que durante la carrera han hecho que mis conocimientos fueran creciendo poco a poco y hayan hecho que en mayor o menor medida que este trabajo sea un resumen de todos los conceptos aprendidos durante la carrera. En especial, gracias a Roberto Mostaza, por su atención y ayuda durante el transcurso de este trabajo, por todas las tutorías y por haber hecho más fácil la realización de este proyecto pese a que no lo teníamos nada fácil.

Gracias a todos mis amigos de la carrera, porque sin vosotros no sería la persona que soy hoy. Me habéis dado los mejores años de mi vida.

Marco, gracias por haberme ayudado a crecer como persona, y haber estado al pie del cañón desde el principio.

Gracias a mis padres y a mi hermana. Nunca podré agradecerlos lo suficiente la confianza que habéis depositado en mí durante estos cinco años.



## RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla el estudio y diseño del aparato biosaludable más conocido como “el ascensor”.

Se realizará el dimensionado del aparato en base a los estudios cinemáticos realizados con Working Model, cuyo objetivo es calcular la fuerza mínima a aplicar en función del peso que ocupe el asiento de este aparato biosaludable, reduciendo así los esfuerzos aplicados en la realización de dicho ejercicio. El posterior modelado y estudio por elementos finitos dará lugar a una nueva solución de diseño que hará que esta máquina se distinga de los modelos existentes en el mercado, puesto que otro de los objetivos de este proyecto es ofrecer un diseño más atractivo al mercado.

## PALABRAS CLAVE

Aparato biosaludable – Parques biosaludables - Working Model – Estudio cinemático – Máquina

## ABSTRACT

This project develops the study and design of a biohealthy machine, which is called “the lift”.

This machine will be measured based on the kinematic studies made with the program Working Model, which principal objective is to calculate the minimum force to apply in function of the weight seated on the machine. Also, another objective is to reduce the efforts made in the realisation of the exercise. The posterior modelling and study of finite elements will lead to a new solution, that will made this machine is distinguished of the rest, since one of the objectives of this project is to offer a more attractive design to the market.

## KEY WORDS

Bioshealth apparatus – Biohealth circuits – Working Model – Kinematics study - Machine



## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO .....	8
1.1.	Definición.....	8
1.2.	Historia.....	8
1.3.	Objetivos de los circuitos biosaludables.....	9
1.4.	Beneficios de los circuitos biosaludables .....	9
1.5.	Tipos de máquinas .....	10
1.6.	Estudio de mercado .....	15
2.	OBJETIVO DEL PROYECTO .....	20
3.	ANTROPOMETRÍA .....	21
4.	ESTUDIO CINEMÁTICO DEL MECANISMO.....	27
4.1.	Descripción .....	27
4.2.	Estudio del número de grados de libertad .....	27
4.3.	Condiciones del mecanismo.....	29
4.4.	Estudio cinemático del mecanismo .....	30
4.4.1.	Consideraciones previas al estudio .....	30
4.4.2.	Situación inicial .....	32
4.4.3.	Redimensionar tamaño barra 4 .....	33
4.4.4.	Acortar tamaño barras 1 y 2.....	39
5.	DISEÑO DEL MODELO FINAL .....	41
5.1.	Bocetos y diseño previo.....	41
5.2.	Diseño final .....	45
5.3.	Modelado en Catia v5.....	46
6.	CÁLCULO POR EL ESTUDIO DE ELEMENTOS FINITOS (INVENTOR) .....	55
6.1.	Análisis del perfil del asiento.....	60
6.2.	Barras superiores paralelas .....	69
6.3.	Análisis barra intermedia.....	72
6.4.	Análisis del soporte principal .....	75
7.	DISEÑO Y SOLUCIÓN FINAL .....	80
7.1.	Solución final .....	80
7.2.	Materiales a emplear.....	81
7.3.	Elementos normalizados .....	84
7.4.	Cimentación de la bancada.....	92

7.5.	Elección del rodamiento.....	93
8.	RENDERS.....	96
9.	PROCESOS DE FABRICACIÓN Y MAQUINARIA A EMPLEAR .....	103
9.1.	Soldadura .....	103
9.2.	Máquinas de corte .....	104
9.3.	Curvadora.....	105
9.4.	Fresadora y taladros .....	106
9.5.	Inyectora de plástico.....	106
9.6.	Proceso de pintado .....	107
10.	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS .....	107
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	109
12.	ANEJOS.....	111



# 1. INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO

## 1.1. Definición

Los Parques biosaludables son gimnasios exteriores, situados normalmente en parques o espacio amplios al aire libre. Están compuestos por diferentes equipos de gimnasia, que permiten realizar ejercicios suaves, para mantener la forma física y prevenir o tratar diferentes lesiones o dolencias.

Estos parques o circuitos biosaludables están pensados para la práctica de ejercicios de adultos, pero especialmente recomendados para personas mayores de 60 años puesto que les permiten mejorar su movilidad, aumentar su flexibilidad y tonificar de una forma suave la musculación de todo el cuerpo. (1)

Además, este tipo de gimnasios al aire libre son beneficiosos para que la población adulta esté más activa físicamente, y esto es importante para prevenir enfermedades como demencia, diabetes, osteoporosis, depresión o problemas cardíacos.

Por otro lado otros expertos expresan que aparte de personas mayores también hay población no anciana o joven que también se siente atraída por practicar este tipo de actividades motoras al aire libre. Por lo tanto, los parques biosaludable no sólo están indicados para población de la tercera edad, sino que están diseñados para la población en general, ofreciendo así la realización de actividad física de una forma suave y al aire libre. (2)

## 1.2. Historia

Para poder entender mejor la historia y el porqué de los circuitos biosaludables, es necesario mencionar el concepto de actividad física.

El nivel de actividad física se define como la habilidad del ser humano para moverse, y además, el encargado de permitir a las personas realizar sus actividades diarias. El rendimiento varía a lo largo de los años, siendo el momento óptimo durante la juventud, y empezando a decaer a partir de los 35 años, para acentuarse más desde los 55-60 años en adelante, debido a cambios fisiológicos del proceso de envejecimiento. (3)

A medida que se va envejeciendo, la forma física se debilita, debido no sólo al envejecimiento biológico sino también el ajuste de la persona a un nivel inferior de actividad.

En la actualidad son muchas las personas en el mundo que dedican su esfuerzo y estudio a lo que podría denominarse como la nueva cultura de la longevidad. Numerosos estudios realizados han demostrado que realizando un aumento de este tipo de instalaciones, la población anciana realizaba con mayor frecuencia este tipo de ejercicios.

Como respuesta a estas necesidades en torno al mantenimiento del rendimiento físico en las personas mayores, aparecen los parques biosaludables. Estos circuitos tienen su origen en China, país donde la veneración a la población anciana es admirable, y también un gran número de gente practica deporte al aire libre. (3)

En Europa, la aparición de los circuitos biosaludables comenzó en 2005 en Finlandia, gracias a la Agencia Finlandesa para la Tecnología y la Innovación (TEKES) y el grupo Lappset Only (2007), uno de los principales productores en el mercado europeo. Esta compañía inició un proyecto de investigación para el estudio del colectivo de mayores denominado "Dynamic Garden", con el objetivo de fabricar elementos para circuitos biosaludables, y cuyo diseño permita promover y motivar a las personas a hacer ejercicio.

A principios de 2006, un año después de arrancar este proyecto, se puso en marcha en Finlandia un área de juego denominado "3 Generational Play" que se definía como un circuito de ejercicios físicos destinados a todas las edades, en los que los mayores podían interactuar con sus nietos y poder ejercitar los músculos de una forma adecuada.

En España, el primer circuito de este tipo se encuentra en el municipio de Leganés, Madrid, construido a finales de 2005, y en la actualidad se pueden encontrar numerosos parques biosaludables a lo largo de las ciudades, en parques públicos, paseos marítimos, etc. (4)

### 1.3. Objetivos de los circuitos biosaludables

Los parques biosaludables están diseñados para facilitar la práctica de un ejercicio suave, tanto de rehabilitación como de mantenimiento, dirigido principalmente a personas mayores.

Los circuitos biosaludables persiguen los siguientes objetivos:

- Mantener o aumentar la movilidad articular de los miembros superiores e inferiores.
- Mejorar la fuerza muscular.
- Trabajar la coordinación y destreza óculo-manual.
- Lograr una interacción social entre los usuarios de la instalación.
- Mejorar las funciones cognitiva, sensorial y motriz del cerebro; además de otras funciones, como la respiratoria, cardiovascular, digestiva, etc (2)

### 1.4. Beneficios de los circuitos biosaludables

El uso de circuitos biosaludables no sólo tiene beneficios a nivel físico, sino que también influye en aspectos mentales, psicosociales y de la calidad de vida, tales como:

- Mejora del humor y de la sensación de bienestar.
- Oxigenación cerebral y mejora de las capacidades cognitivas.

- Disminución de la posibilidad de depresión.
- Optimización de la calidad de vida.
- Aumento de la autoestima y de la autoconfianza
- Alivio del estrés.
- Retraso del envejecimiento y aumento de la independencia

En cuanto al nivel físico, también hay beneficios en cuanto al sistema inmunitario:

- Mejora de la capacidad inmunitaria
- Disminución de la incidencia de algunos tipos de cáncer (mama, colón, etc...)
- También se pueden observar beneficios en aspectos metabólicos:
- Disminución del riesgo de dolencias metabólicas
- Ayuda en el control del peso
- Prevención de la diabetes tipo Mellitus (enfermedad que se produce cuando el páncreas no puede fabricar insulina suficiente o cuando ésta no logra actuar en el organismo porque las células no responden a su estímulo)

Beneficios en el sistema locomotor:

- Prevención y alivio de dolores de espalda
- Prevención de la osteoporosis
- Fortalecimiento muscular y óseo
- Mejora de la coordinación y el equilibrio
- Y por último, mejoras en el sistema cardiovascular:
- Mejora de la capacidad Cardiovascular
- Aumento de la oxigenación de los tejidos
- Ayuda en el control de la tensión arterial
- Prevención de dolencias coronarias (5)

### 1.5. Tipos de máquinas

En los Parques Biosaludables puede encontrar diversos elementos para determinados tipos de ejercicios, estos elementos corresponderían a la siguiente clasificación:

- **Equipos de Calentamiento** (los equipos que corresponden a esta sección son para iniciar la actividad física):
  - o **Volante:** potencia, desarrolla y mejora la musculatura de los hombros. Mejora la flexibilidad general de las articulaciones de hombros, muñecas, codos y clavículas.



Ilustración 1. Volante

(<https://www.b2sport.es/deportes-outdoor-fitness/volante-st-t01x-n1250/>)

- **La cintura:** ejercita la cintura y ayuda a relajar los músculos de cintura y espalda, refuerza la agilidad y la flexibilidad de la zona lumbar.



Ilustración 2. Cintura (<https://www.b2sport.es/>)

- **El timón:** refuerza la musculatura de miembros superiores así como la flexibilidad y agilidad de las articulaciones del hombro. Especialmente indicado para rehabilitaciones de movilidad de hombro.



Ilustración 3. Timón (<https://www.b2sport.es/>)

- Equipos de coordinación de movimientos:
  - o **Esquí de fondo:** mejora la movilidad de los miembros superiores e inferiores y mejora la flexibilidad de las articulaciones.



Ilustración 4. Esquí de fondo (<https://www.b2sport.es/>)

- o **Patines:** mejora la movilidad de los miembros inferiores, aportando coordinación al cuerpo y equilibrio, aumenta la capacidad cardiaca y pulmonar reforzando la musculatura de piernas y glúteos.



Ilustración 5. Patines (<https://www.b2sport.es/>)

- o **Surf:** refuerza la musculatura de la cintura, mejora la flexibilidad y coordinación del cuerpo. Recomendado para personas de todas las edades. Ejercita la columna y la cadera. (Está limitado para personas con problemas articulares de espalda o de cadera, deben consultar al médico para usar este elemento).



Ilustración 6. Surf. (<https://www.b2sport.es/>)

- **Las barras:** para estiramientos de extremidades.



Ilustración 7. Barras de estiramiento (<https://www.b2sport.es/>)

- Equipos de ejercicios:
  - **El ascensor:** refuerza y desarrolla la musculatura de miembros superiores, pecho y espalda mejorando la capacidad cardio-pulmonar.



Ilustración 8. Ascensor (<https://www.b2sport.es/>)

- **El pony:** fortalece la musculatura de brazos, piernas, cintura, abdominal, espalda y pecho, permitiendo un completo movimiento de las extremidades, mejora la capacidad cardio-pulmonar.



Ilustración 9. Pony (<https://www.b2sport.es/>)

- **El columpio:** desarrolla y refuerza las musculaturas de pierna y de cintura, en concreto cuádriceps, gemelos, glúteos y músculos abdominales inferiores.



Ilustración 10. El columpio (<https://www.b2sport.es/>)

- Equipos de relajación:
  - **El masaje:** relaja la tensión muscular de cadera y espalda. Ayuda a mejorar la circulación y el sistema nervioso. (6)



Ilustración 11. Masaje (<https://www.b2sport.es/>)

## 1.6. Estudio de mercado

Como se ha mencionado en el apartado anterior, la máquina objeto de estudio es el ascensor, y en este apartado se va a realizar un estudio de mercado con los diferentes modelos que se pueden encontrar.

- **Modelo 1:** el modelo que se ve en la imagen inferior tiene unas dimensiones de 2.344 x 742 x 1.885 mm, con una zona de seguridad de 5.777 x 3.742 mm. Algunos datos de interés puede ser por ejemplo el ángulo que forman las barras superiores, siendo de 88.4°. (7)



Ilustración 12. Modelo 1.

<https://grupfabregas.com/producto/eco-biosaludable-el-ascensor-ench-02/>

- **Modelo 2:** este modelo tiene unas medidas de 1220 x 700 x 1950 mm, con un área de seguridad de 2000 x 3000 mm. Además, tiene una indicación de que puede ser utilizado por personas con una estatura superior a 1.40 m. Está hecho con acero galvanizado, con pintura EPOXI para más resistencia a la climatología adversa y rodamientos autolubricantes. Los procesos industriales son los siguientes:

Los postes se fabrican con tubos de acero galvanizado de 114 mm de diámetro con base de anclaje de 300 mm de diámetro y 5 mm de grosor con 4 orificios para tacos metálicos de expansión M140x100. El resto de tubos, son redondos de acero galvanizado, en diferentes diámetros 25/32/38/48/60 mm.

Los cubre tornillos son de aluminio y ofrecen una gran resistencia a la rotura y al anti-envejecimiento. Las fijaciones de algunas funciones se realizan con abrazadera especial con tortillería avellanada y tuercas ciegas o autoblocantes de acero inoxidable.

Los rodamientos son autolubricantes sellados contra agua y polvo. Las soldaduras adoptan el método "CO2 shielded arc welding" y cumple con la normativa vigente.

Para el proceso de pintado, se aplica un tratamiento previo de fosfatado para limpieza y mejora de adherencia, para el posterior recubrimiento en polvo electrostático anticorrosión basada en resina de poliéster, especialmente diseñada para estabilidad de retención de color y finalmente secado al horno a altas temperaturas. (8)



Ilustración 13. . Modelo 2. (<https://www.juegosalibre.com/aparato-fitness-biosaludable-tramontana-ascensor>)

- **Modelo 3:** se pueden encontrar variaciones en el diseño que agrupan dos máquinas, como por ejemplo esta, que agrupa tanto el ascensor como otra máquina conocida como “doble pectoral horizontal”, que tiene una función parecida a la máquina objeto del estudio, pero con un movimiento que se realiza a la inversa. Esta máquina tiene unas dimensiones de 2000 x 700 x 1700 mm. En este caso especifica una edad mínima para poder realizar el ejercicio, 13 años. (9)



Ilustración 14. Modelo 3 (<https://www.parquesinfantilesdecolombia.com/parques-infantiles/pectoral-y-ascensor-parque-biosaludable/>)

- **Modelo 4:** el modelo de la imagen inferior tiene unas medidas de 1994 x 623 x 1557 mm. Está compuesto por diversos perfiles de acero

galvanizado termo-lacado, con una estructura principal en perfilera de 114x3 mm. Las zonas de sujeción están engomadas para mejorar el agarre y dar mayor comodidad. (10)



Ilustración 15. Modelo 4 (<https://www.equidesa.com/productos/equipamiento-deportivo-urbano/aparatos-biosaludables/ascensor-biosaludable-189>)

- **Modelo 5:** el modelo de la imagen inferior tiene unas medidas de 840 x 2570 x 2200 mm, en este caso no se especifica el ángulo que forman las barras superiores. Tiene una zona de seguridad de 5050 x 3650 mm. Está hecho de tubos de acero galvanizado. (11)



Ilustración 16. Modelo 5. (<https://grupfabregas.com/producto/biosaludable-elevador-wd-010471-wd-010471/>)

- **Modelo 6:** El siguiente modelo tiene unas medidas de 1000 x 700 x 2050 mm. El material es acero pintado en polvo. Además, indica que está disponible para la instalación en suelo duro y suelo blando. Es interesante este modelo puesto que especifica el anclaje al suelo para empotrar, como se puede observar en la siguiente imagen: (12)



Ilustración 17. Modelo 6 (<https://fercity.com/producto/elementos-saludables-el-ascensor>)

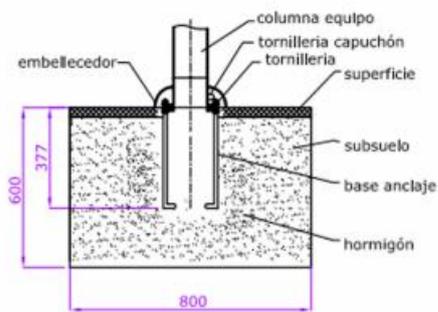


Ilustración 18. Anclaje al suelo. (<https://fercity.com/wp-content/uploads/2016/04/El-Ascensor.pdf>)

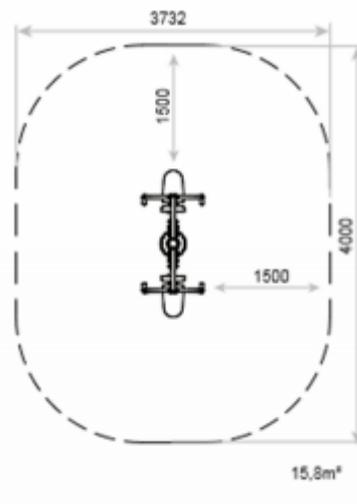


Ilustración 19. Área de seguridad. (<https://fercity.com/wp-content/uploads/2016/04/El-Ascensor.pdf>)

- **Modelo 7:** el siguiente diseño se diferencia de los demás porque tiene un aspecto estético diferente, más atractivo a la vista, como se puede observar sobretodo en la parte de los asientos. Tiene unas medidas de 2069 x 1475

x 590 mm, con un área de seguridad de 1500 x 1500 mm. Está compuesto de diferentes perfiles de acero galvanizado termo-lacado y tablero fenólico de 15 mm con tratamiento UV. Las zonas de sujeción están engomadas para mejorar el agarre y dar mayor comodidad. (13)



Ilustración 20. Modelo 7 (<https://www.equidesa.com/productos/equipamiento-deportivo-urbano/comprar-aparatos-biosaludables-calidad/el-ascensor-2019-biosaludable-810>)

- **Modelo 8:** Dimensiones: 2100 x 640 x 1730 mm, con un área de seguridad de 5100 x 3800 mm. Materiales: El tubo principal es de sección cuadrada de 120 x 120 mm de 3 mm de espesor lacado al horno. Tiene rodamientos empotrados en el tubo de sección circular de 60 mm de 8 mm de espesor, un tubo de sección cuadrada de 45 x 45 mm de 3 mm de espesor. Las piezas de agarre están fabricadas en caucho, el asiento y el respaldo están fabricados en polietileno de alta densidad, y la tornillería es de acero inoxidable. Sistema de anclaje: El sistema de fijación al terreno se realiza mediante pernos de anclaje con taco químico de diámetro 12 mm, longitud 260 mm y métrica M12. (14)



Ilustración 21. Modelo 8. (<https://www.myparque.com/producto/ascensor-mixto/>)

## 2. OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es rediseñar un aparato de un circuito biosaludable, en este caso, la máquina más conocida como ascensor. Se proporcionará un rediseño, en cuanto a términos estéticos, para que sea más atractiva visualmente.

La elección de esta máquina se basa en que se trata de una máquina que tiene unos mecanismos bastante sencillos de analizar, que nos ofrece unas posibilidades de diseño, y que además puede ser mejorada con el fin de ser más cómoda de utilizar para el usuario.

Para realizar el diseño de la máquina biosaludable “ascensor”, se llevarán a cabo varias etapas, que se describen a continuación.

Se estudiarán los mecanismos que componen esta máquina, mediante un estudio cinemático realizado en Working Model, el cual realiza unas simulaciones del modelo en dos dimensiones. Se estudiarán en base a un peso establecido, basado en estudios antropométricos realizados anteriormente. Además, se dimensionarán parte de sus barras para adecuar así la máquina al usuario. Así, mediante un ensayo de prueba-error, se obtendrán unas dimensiones que conformarán el diseño final.

Una vez se obtengan estas dimensiones, se procederá al modelado y diseño de la máquina en programas de diseño y modelado como es Catia. Una vez definido el prediseño realizado con Catia, se simulará mediante el estudio de elementos finitos, realizado con el programa Inventor de Autodesk, el cual definirá los límites mecánicos del mecanismo, y del cual se obtendrán los materiales que mejor se ajustan a esta máquina y las uniones más convenientes. Una vez realizado el estudio, se realizarán las modificaciones pertinentes en cuanto a la geometría, y se definirá el diseño final.

Para el correcto modelado y funcionamiento, se elegirán los diferentes elementos normalizados y de unión para unir las diferentes partes de la máquina, así como los elementos de seguridad que se utilizarán para proteger dichas piezas y que no causen daño a los usuarios que vayan a utilizar la máquina. Además, se indicarán las diferentes máquinas y los procesos de fabricación que se van a utilizar para la realización de la máquina. Se realizarán renders en el programa keyshot para obtener una visión y una idea más real de la máquina.

Posteriormente, se mencionará la normativa utilizada para la realización del proyecto, se realizará un estudio de seguridad para que el usuario realice de una forma correcta los ejercicios en esta máquina. Además, se realizará un pliego de condiciones, el presupuesto y se definirá el precio de venta.

### 3. ANTROPOMETRÍA

Para comenzar con este apartado, es necesario mencionar en qué consiste la antropometría:

*“La antropometría es la disciplina que describe las diferencias cuantitativas de las medidas del cuerpo humano, estudia las dimensiones tomando como referencia distintas estructuras anatómicas, y sirve de herramienta a la ergonomía con objeto de adaptar el entorno a las personas.” (15)*

Es importante tener un concepto de antropometría puesto que en cualquier diseño hay que tener en cuenta los estudios antropométricos para la correcta realización de un diseño ergonómico. Para poder comprender mejor esto, también es necesario incluir el concepto de “principio ergonómico”. Según el libro anteriormente mencionado, el principio ergonómico se define como “adaptar la actividad a las capacidades y limitaciones de los usuarios, y no a la inversa como suele ocurrir con mucha frecuencia.” Lo que viene a decir esta definición es que muchas veces no se tienen en cuenta las posiciones básicas para realizar un diseño ergonómico, y por tanto no se está creando un objeto disponible antropométricamente para cualquier individuo.

*“En gran parte la arquitectura se diseña en función de sus dimensiones específicas y del alcance de sus gestos. No obstante, éstos varían sustancialmente con la edad, y resultan determinantes críticos para establecer criterios de diseño en el caso de personas con movilidad reducida.” (16).* Este aspecto es interesante en cuanto a la realización de un diseño ergonómico y adaptable para todos.

A continuación, se muestran las posiciones básicas para la toma de medidas antropométricas:

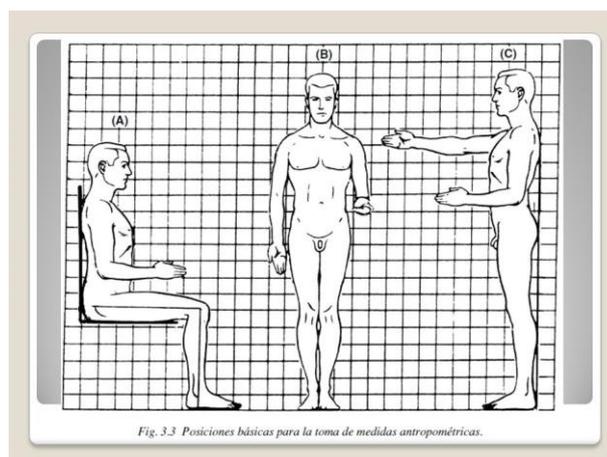


Ilustración 22. Posiciones básicas para la toma de medidas antropométricas. Pedro Mondelo, fundamentos de ergonomía I.

Las medidas que se obtendrán de la población dependerán de la aplicación funcional que se quiera dar; partiendo del diseño, existe un número mínimo de dimensiones relevantes. Así, se tienen las medidas básicas para el diseño de Puestos de trabajo:

Posición sentada:

- (AP): Altura poplítea
- (SP): Distancia sacro-poplítea
- (SR): Distancia sacro-rótula
- (MA): Altura de muslo desde el asiento
- (MS): Altura del muslo desde el suelo
- (CA): Altura del codo desde el asiento
- (AmínB): Alcance mínimo del brazo
- (AmáxB): Alcance máximo del brazo
- (AOs): Altura de los ojos desde el suelo
- (ACs): Altura de caderas sentado
- (CC): Anchura de codo a codo
- (RP): Distancia respaldo-pecho
- (RA): Distancia respaldo-abdomen

Posición de pie:

- (E): estatura
- (CSp): Altura codos de pie
- (AOp): Altura ojos de pie
- (Anhh): Ancho de hombro a hombro (15)

A continuación, se tiene una imagen donde se ilustran estas medidas:

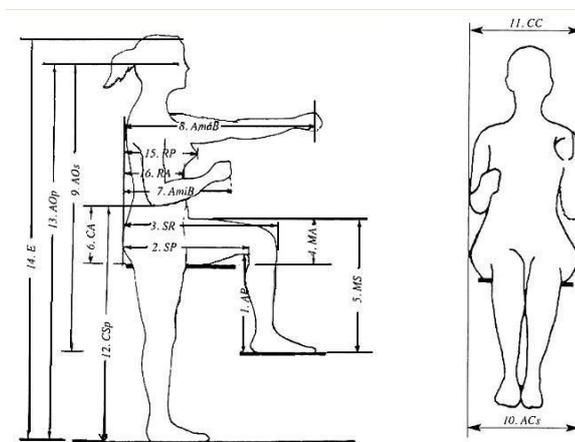


Fig. 3.4 Dimensiones antropométricas relevantes para el diseño de puestos de trabajo. Vista de perfil.

Fig. 3.5 Vista frontal

Ilustración 23. Dimensiones para el diseño de puestos de trabajo. Libro Ergonomía I

Además, una aplicación de la antropometría es determinar cuál es el espacio más óptimo que una persona es capaz de hacer para realizar una serie de actividades. Esto se aplica mediante mapas de las estrofosferas en planta, alzado y perfil de las máximas curvas de agarre:

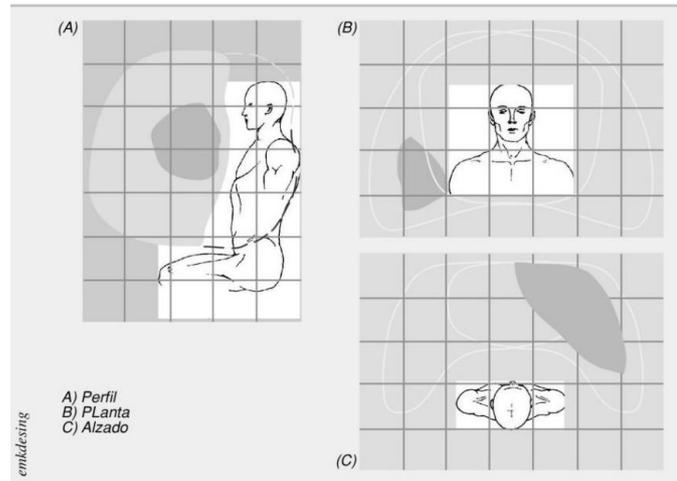


Ilustración 24. Estrofosfera a-b-c. Libro fundamentos de ergonomía I

A continuación se muestran las áreas de actividad en el plano de trabajo, que también se pueden incluir en el estudio de este proyecto:

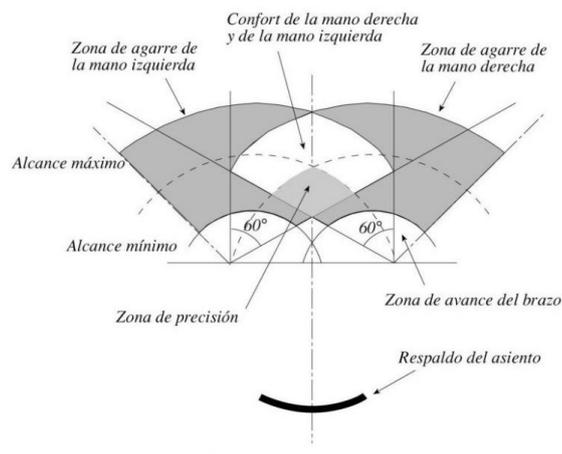


Ilustración 25. Áreas de actividad en el plano de trabajo. Libro fundamentos de ergonomía I

Puesto que la actividad que se va a realizar se hace sentado, es importante pensar en el diseño y la selección del asiento. De hecho, es vital remarcar la importancia de un buen diseño en cuanto a los asientos, ya que una mala decisión puede llevar a problemas de salud y bienestar en las personas. Hay algunos aspectos que tienen que considerarse para realizar un diseño ergonómico en un asiento:

- **Altura del asiento:**

Deben ser alturas regulables comprendidas, según la población española, entre 32 y 50 cm. Esta altura dependerá de los sujetos, pero si la actividad es prolongada, se recomienda que el pie apoye completamente el suelo, y que la rodilla forme un ángulo de 90°, es decir, tomar como referencia la altura poplítea de cada sujeto.

- **Profundidad y anchura:**

Viene determinada por los mínimos de la longitud sacro-poplítea entre 40 y 45 cm, y la anchura por los máximos de cadera, entre 40 y 50 cm.

- **Respaldo:**

El respaldo es importante que de soporte a la región lumbar. (15)

En nuestro caso los otros dos puntos, correspondientes a apoyabrazos y soporte y acolchamiento no serán de consideración en este estudio puesto que no es necesario incluirlos en el proceso de diseño.

Una vez mencionados estos aspectos ergonómicos, es importante también tener en cuenta que la persona tiene que estar cómoda y encontrarse en una posición natural para poder realizar los ejercicios, por lo tanto se toma el confort del área de las manos como objetivo a tener en cuenta en el diseño de la máquina, aspecto que se detallará más adelante.

En nuestro caso, se va a utilizar una masa de 70 kilogramos, ya que se considera una masa bastante aceptable y representativa de la población, ya que si se hubiera utilizado el criterio según la UNE-EN ISO 7250:2017 de Diseño de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico, si se utiliza un percentil 95 (correspondiente al 95% de la población) habría que aplicar un peso de 92,5 kg, lo que se considera bastante alto en este caso. Se ha considerado este peso en base a numerosos estudios realizados por censos de población y encuestas.

También va a ser necesario saber el ángulo que forma el brazo extendido, en el momento en el que agarra la barra para realizar el ejercicio. En este caso, se ha estudiado con detenimiento el estudio realizado por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) de 2011 para la reducción de cargas en el trabajo, el cual establece que los límites del ángulo del brazo están entre 30° negativos y 60° positivos respecto de la horizontal. (15)

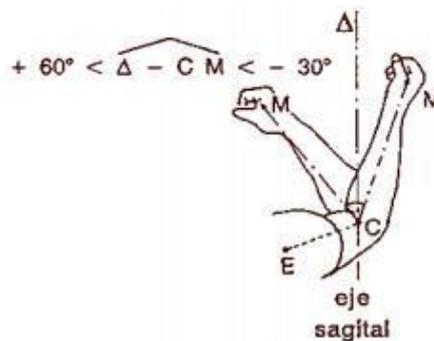


Ilustración 26. Ángulo del brazo respecto del eje sagital. Libro fundamentos de ergonomía I

Observando las tablas antropométricas de la población española con las diferentes medidas mencionadas anteriormente, se han extraído las siguientes, las cuales corresponden a un percentil 95: (17)

- AmáxB (alcance máximo del brazo): 0,785m
- AP (altura poplítea): 0,467 m
- HS (altura de hombros sentado): 0,635 m

- ACs (anchura caderas sentado): 0,417m

Si se representan estas medidas en un dibujo, tal y como se puede ver en la imagen inferior, se podría calcular el punto de agarre con la barra superior, y así calcular el punto donde se aplicaría la fuerza de accionamiento del mecanismo:

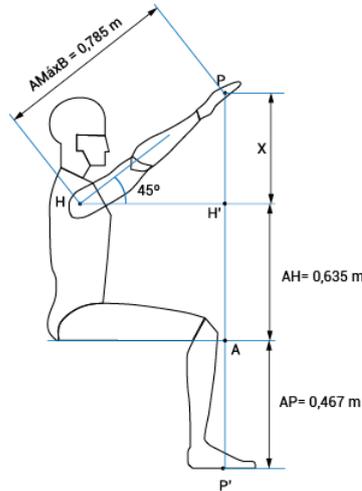


Ilustración 27. Dibujo medidas sentado. (Elaboración propia)

El punto H corresponde a la altura de la articulación del hombro sentado, con respecto al asiento. El punto A y su prolongación hasta el suelo corresponde a la altura poplíteica, descrita anteriormente; el punto P es el punto de agarre de la mano con la barra con la cual se realizaría el ejercicio. Si se une este punto P con el punto H, se tiene la distancia que forma el brazo en su alcance máximo. Sólo queda por averiguar la distancia x, para poder ver qué distancia hay verticalmente desde el punto P hasta P' y poder definir así el diseño.

La distancia x se puede calcular de la siguiente forma:

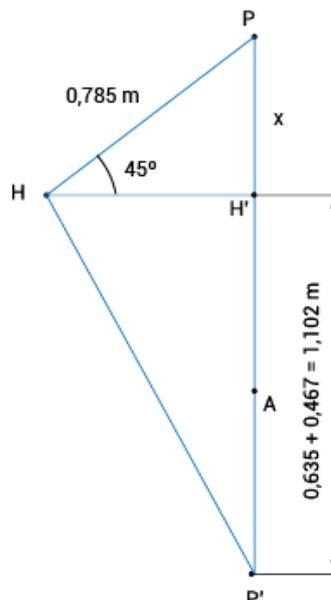


Ilustración 28. Triángulo de síntesis (elaboración propia)

Como se puede observar, y se ha definido anteriormente, el brazo forma un ángulo de  $45^\circ$  positivos con respecto a la horizontal. Se han sumado además las distancias de la altura del hombro sentado (tal y como se puede ver en la ilustración 26) y la altura poplítea de la misma forma. Así:

$$\overline{P'H'} = \overline{H'A} + \overline{AP'} = 0,635 + 0,467$$

$$\overline{P'H'} = 1,102 \text{ m}$$

Además, también hay que observar el triángulo superior definido por los puntos H, H' y P. Si aplicamos propiedades trigonométricas, obtenemos que:

$$\sin 45^\circ = \frac{x}{0,785}$$

$$x = 0,555 \text{ m}$$

Luego,

$$\overline{PP'} = \overline{P'H'} + x = 1,102 + 0,555$$

$$\overline{PP'} = 1,657 \text{ m}$$

Una vez obtenido este punto, se podrá definir el punto en coordenadas x e y en el cual se aplicará la fuerza.

Se procede a calcular la distancia medida horizontalmente desde el hombro, a partir del triángulo pequeño, siendo esta la recta que une los puntos H y H':

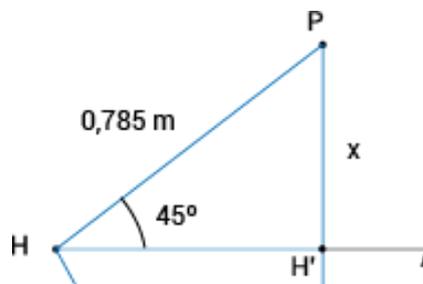


Ilustración 29. Triángulo pequeño (elaboración propia)

Puesto que se trata de un triángulo equilátero, la distancia horizontal es la misma que la distancia vertical, con lo cual la distancia del punto H a H' es la misma que la distancia x, es decir,  $0,555 \text{ m}$ .

Por lo tanto, las coordenadas del punto P, tomando como eje 0 en x el punto H y midiendo desde el suelo, es de  $0,555 \text{ m}$  en x y de  $1,657 \text{ m}$  en y.

## 4. ESTUDIO CINEMÁTICO DEL MECANISMO

### 4.1. Descripción

El accionamiento de esta máquina, más comúnmente conocida como “ascensor”, se realiza de la siguiente forma: se agarran los extremos superiores, cada uno con una mano, y se realiza el movimiento intentando acercar esos extremos hacia el tronco, de forma que mientras se realiza este movimiento la persona va ascendiendo en altura hasta llegar a una posición “tope”, en la cual se tendrá que invertir el movimiento para regresar a la posición inicial. Cabe decir que este movimiento debe hacerse de forma controlada, y evitando no hacer movimientos muy bruscos tanto de subida como de bajada, para evitar así lesiones.

Como se puede observar, los movimientos son repetitivos, es decir, siempre se realiza la misma acción, tanto de accionamiento como de vuelta a la posición inicial. Para entender mejor esto, es necesario introducir el concepto de cadena cinemática desmodrómica: es posible el movimiento relativo determinado entre sus eslabones, o sea, que si uno de ellos se mantiene fijo y otro se mueve, todos los puntos de los restantes eslabones se moverán sobre ciertas líneas determinadas y siempre sobre las mismas. Lo que es lo mismo, si un eslabón está fijo y otro se mueve, el resto de los eslabones realizarán la misma trayectoria siempre que se muevan, independientemente del número de veces que lo hagan.(18)

### 4.2. Estudio del número de grados de libertad

El número de grados de libertad de un cuerpo es el número de coordenadas independientes necesarias para especificar de forma única la posición de un cuerpo respecto de un sistema de referencia. De esta forma, el mínimo número de coordenadas necesarias para especificar de forma única las posiciones de todos los componentes de un sistema de cuerpos rígidos, será el número de grados de libertad del sistema.

En el caso de este proyecto, para calcular los grados de libertad es necesario calcular el índice de movilidad del mecanismo.

Para calcular el índice de movilidad del mecanismo, nos basamos en la Ecuación de Kutzbach, expresión que permite obtener el grado de movilidad de un mecanismo. El criterio consiste en realizar una diferencia entre los grados de libertad de los eslabones del mecanismo y las restricciones impuestas por los pares cinemáticos.

Se parte del supuesto de que un mecanismo posee  $n$  eslabones que son diferentes. Cada uno de ellos antes de unirse, tiene 6 grados de libertad, divididos en 3 giros y 3 desplazamientos en los 3 ejes posibles del espacio ( $x, y$  y  $z$ ), excepto la bancada, que no posee ningún grado de libertad. Esto quiere decir que antes de unirse, los grados de libertad del mecanismo son:

$$6 \times (n - 1)$$

Si se van uniendo mediante pares, se van restringiendo los movimientos relativos entre ellos. Por lo tanto, el cálculo de grados de libertad se calcula de la siguiente forma:

$$M = 6 \times (n - 1) - \sum_{m=1}^5 (6 - m) \times N_m$$

M = índice de movilidad del mecanismo

N = número total de eslabones del mecanismo

(6-m) = grados de libertad restringidos

$N_m$  = número de pares  $m$  en el mecanismo

Si el mecanismo es plano, es decir que el mecanismo se puede expresar en dos dimensiones, se puede decir en consecuencia, que el movimiento también lo es. Así, los grados de libertad de cada eslabón pueden reducirse a tres, con lo que la ecuación también se simplifica:

$$M = 3 \times (n - 1) - \sum_{m=1}^2 (3 - m) \times N_m$$

Y, si se simplifica aún más, la ecuación queda así:

$$M = 3 \times (n - 1) - 2 \times N_1 - 1 \times N_2$$

Tal y como se ha mencionado anteriormente, esta última ecuación corresponde al Criterio de Kutzbach para el cálculo de movilidad de mecanismos planos. Para definir los pares que se dan en el mecanismo, se utiliza la siguiente simplificación realizada en Working Model:

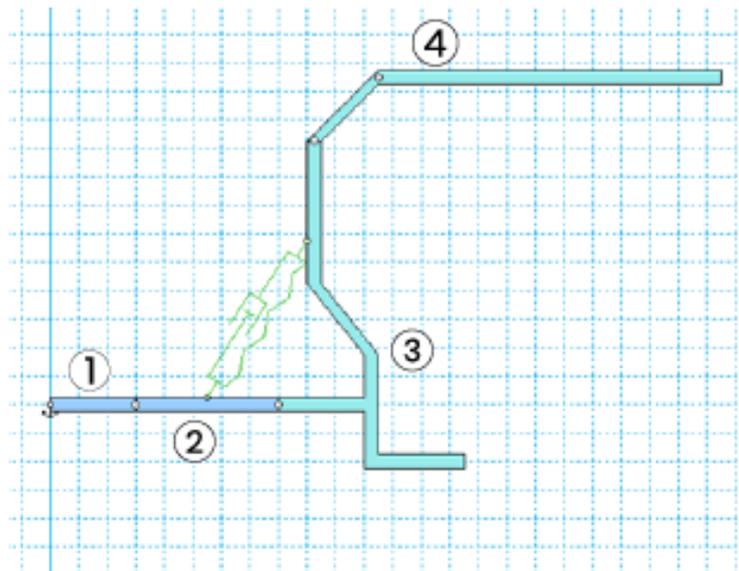


Ilustración 30. Modelo inicial (elaboración propia)

El mecanismo está compuesto por 4 eslabones, 3 barras más la bancada, cada uno con una unión fija entre sí, por lo que no afecta al movimiento del mecanismo.

Identificando cada par, se obtienen:

1-2: R

2-3: R

3-4: R

4-1: R

$4N_1$

Definidos todos los pares se puede observar que este mecanismo posee cuatro pares inferiores o cerrados de revolución. El motivo por el que estos pares son inferiores o cerrados es que entre las superficies de contacto de ambos eslabones hay un contacto superficial, y que además uno no sólo forma la envolvente del otro, sino que además lo encierra, siendo geoméricamente idénticas ambas superficies de contacto entre ambos eslabones, una sólida y la otra hueca. Además, se puede añadir otra característica para definir a este par como de revolución. Este tipo de par requiere que las superficies de contacto sean ambas de revolución, excluyendo las que son completamente cilíndricas, quedando así, el único movimiento que se pueda dar entre ellas la rotación de un elemento respecto del otro alrededor de un eje común.

Así, obtenemos un mecanismo plano, compuesto por seis eslabones que tienen siete pares inferiores de revolución.

Aplicando la ecuación del criterio de Kutzbach, tenemos que:

$$M = 3 \times (n - 1) - 2 \times N_1 - 1 \times N_2$$

$$M = 3 \times (4 - 1) - 2 \times 4$$

$$M = 9 - 8$$

$$M = 1$$

Obteniendo un índice de movilidad de uno, este mecanismo es igual al número de grados de libertad, que afirma lo anteriormente mencionado. (19)

### 4.3. Condiciones del mecanismo

Para poder realizar el estudio de este mecanismo, es necesario simplificarlo al máximo en dos dimensiones, y así obtener el mecanismo que posteriormente se estudiará en Working Model. Algunas de las barras no se han incluido puesto que no influyen en el estudio, sobretodo barras que forman parte de la bancada, y que por lo tanto su dimensionado no es tan relevante.

Se colocará en el asiento un peso de 70 kg que, según se ha explicado en el apartado de la antropometría, se considera un peso aceptable que representa con cierta veracidad a la población.

Este estudio tiene como finalidad variar diferentes medidas y valores del mecanismo, así como algunos parámetros con el fin de optimizarlo al máximo, y mejorar su diseño y el uso para el usuario. Además, se averiguará la fuerza mínima necesaria para accionarlo. Todo esto será realizado mediante ensayos en Working Model.

Las medidas que se han establecido han sido calculadas en base a otros modelos ya existentes en el mercado para poder reproducir más fielmente el movimiento; otras han sido tenidas en cuenta desde el punto de vista antropométrico para hacer la máquina más ergonómica. Se puede ver en la imagen inferior cómo se ha dimensionado inicialmente el modelo:

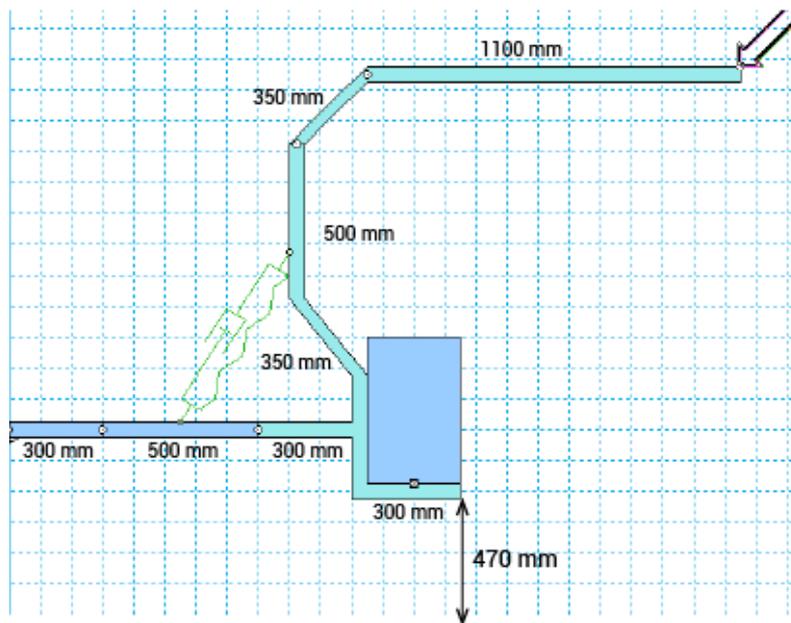


Ilustración 31. Mecanismo con longitudes iniciales (elaboración propia)

#### 4.4. Estudio cinemático del mecanismo

##### 4.4.1. Consideraciones previas al estudio

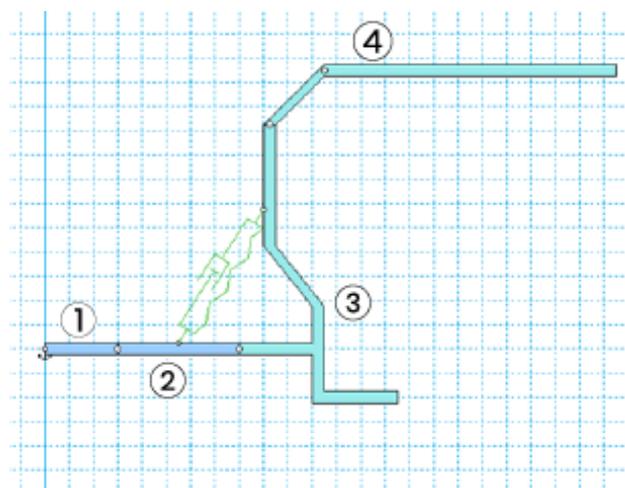


Ilustración 32. Mecanismo inicial (elaboración propia)

Se han numerado las barras que componen el mecanismo con el fin de hacer más sencilla su comprensión e identificación. Cabe destacar además, que el mecanismo se ha dibujado de la forma más sintetizada posible, con el fin de simplificarlo y hacer más sencillo el estudio y evitar así errores.

La barra 1 se ha anclado puesto que pertenece a la bancada y por tanto no realiza ningún tipo de movimiento. Las uniones, como se ha mencionado anteriormente, se han realizado por medio de pares de revolución o inferiores, puesto que sólo tienen permitido el movimiento de rotación.

Para comenzar con el estudio, se ha dispuesto un bloque de masa 70kg en el asiento, situado en la barra 3. En el extremo derecho de la barra 4 se ha colocado una fuerza, correspondiente a la fuerza de accionamiento necesaria para realizar el ejercicio. Esta fuerza forma un ángulo de 45° con respecto a la horizontal, simulando el ángulo que forma el brazo con respecto al hombro. La fuerza, por lo tanto, se dividirá en dos, fuerza horizontal y fuerza vertical, formando 45° su resultante. No se sabe la magnitud mínima de esta fuerza mínima para realizar el ejercicio, por lo que lo primero que hay que hacer es calcular la fuerza mínima a aplicar para que se produzca dicho movimiento.

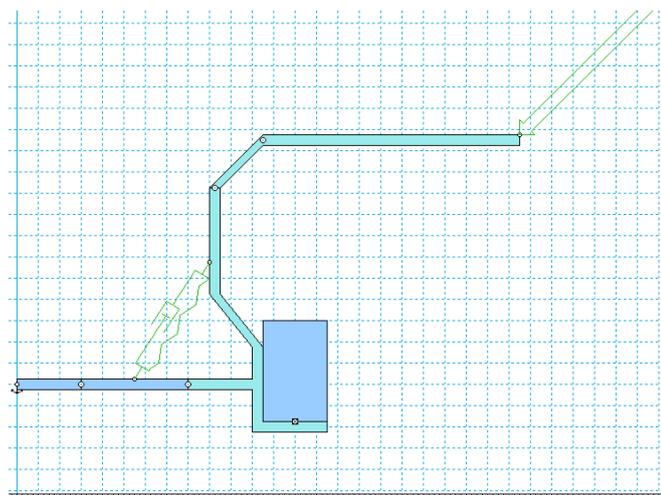


Ilustración 33. Situación y dirección de la fuerza F (elaboración propia)

La fuerza que hay que aplicar en ese punto será la fuerza mínima necesaria para poder elevar al usuario, y según el peso escogido y teniendo en cuenta la magnitud de la gravedad, podremos calcular el módulo de la fuerza para elevar 70 kg de masa:

$$70 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N} = 686 \text{ N}$$

Por lo tanto se obtiene que la fuerza necesaria para levantar 70 kg de masa son 686 N. Esta magnitud será aplicada en forma de módulo en el punto de aplicación que se ha mencionado anteriormente. Puesto que esta magnitud corresponde al módulo, es necesario desglosarla en las componentes x e y para poder aplicarlas en el programa. El ángulo de aplicación de la fuerza es el que se ha dicho anteriormente, 45°, por lo que las componentes x e y serán iguales en magnitud. Así:

$$F_x = F \times \cos 45$$

$$F_x = 686 \times \cos 45$$

$$F_x = F_y = 485,075 \text{ N}$$

Luego este valor de 485,075 N sería la fuerza necesaria a aplicar para poder elevar la masa de 70 kg, pero realmente, debido a la constitución del mecanismo, esta fuerza se reduce de una forma significativa. Lo que se tiene que averiguar es qué porcentaje del peso es el que define la fuerza mínima a aplicar.

Esta fuerza se calculará realizando pruebas en Working Model, para poder obtener un resultado lo más fiable y cercano a la realidad posible. Una vez que se tenga la fuerza mínima a aplicar en un peso de 70kg, se podrá realizar el cálculo de la fuerza mínima para cualquier peso, expresando en porcentaje la fuerza en función del peso a aplicar.

#### 4.4.2. Situación inicial

Tomando como ángulo inicial los 45° que forma la fuerza respecto a la horizontal, se obtiene que ambas componentes poseen el mismo valor, y se irán sucediendo los valores de las fuerzas hasta encontrar el valor que accione el mecanismo y se produzca movimiento. A continuación se puede observar el cuadro de propiedades de la magnitud de la fuerza:

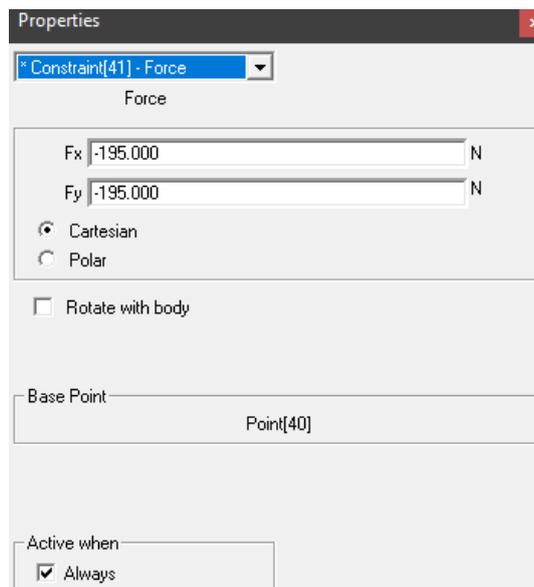


Ilustración 34. Cuadro de propiedades de la fuerza (elaboración propia)

Se ha comenzado con el estudio aplicando una fuerza significativamente pequeña de 50N para ver cómo se comportaba el mecanismo. Se obtiene que el mecanismo no realizaba movimiento. Se va aumentando gradualmente esta fuerza hasta llegar a una fuerza de 190N (cabe decir que estas magnitudes de fuerza son negativas puesto que el movimiento se realiza hacia abajo), que va a ser la fuerza mínima a aplicar para accionar el mecanismo.

Luego, teniendo el valor de las componentes de la fuerza mínima para poder accionar el mecanismo, se puede calcular el módulo de la fuerza para calcular el

porcentaje que exprese la relación entre el peso y la fuerza necesaria para accionar la máquina.

$$|F| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$|F| = \sqrt{(-190)^2 + (-190)^2}$$

$$|F| = 268,7 \text{ N}$$

Teniendo en cuenta el peso de 70kg expresado en Newtons, es decir, 686 N se puede realizar la operación que exprese la relación entre ambas magnitudes, expresado como una ecuación en la que actúan dos variables x e y, en la que x es el peso e y es la fuerza empleada. Esta ecuación será expresada como un cociente, ya que se trata de una relación proporcional, tal que:

$$\frac{x}{y} = \frac{686N}{268,7N}$$

$$x = 2,5530y$$

Obtenemos que el peso del usuario x sería 2,5530 veces la fuerza y, o proporcionalmente hablando:

$$y = \frac{x}{2,5530} \times 100$$

$$y = 39,1696 \times x \%$$

Como resultado se obtiene que la fuerza a aplicar para accionar el mecanismo tiene que ser de al menos el 39,1696% el valor del peso del usuario. Se va a intentar reducir este valor, puesto que se considera elevado, modificando alguna de las barras con el fin de reducir un poco la magnitud de esta fuerza, y reducir por tanto el esfuerzo al realizar el ejercicio.

#### 4.4.3. Redimensionar tamaño barra 4

Se procede a redimensionar la barra 4, que es la barra correspondiente a la barra con la cual se realiza el ejercicio. Como se mencionó en el estudio antropométrico, las medidas correspondientes a un percentil 95 son las siguientes:

- AmáxB (alcance máximo del brazo): 0,785m
- AP (altura poplítea): 0,467 m
- HS (altura de hombros sentado): 0,635 m
- ACs (anchura caderas sentado): 0,417m

Lo que es de relevancia en el estudio para el diseño de la máquina es el punto en el cual la persona agarra el manillar y hace fuerza para realizar el ejercicio. Se han realizado los cálculos anteriormente para calcular la posición de este punto, y se ha obtenido que este punto se encuentra a 0.555m desde el hombro tomándolo como distancia horizontal.

Una de las hipótesis que se pueden plantear en este estudio es si la barra tiene que formar un ángulo con la horizontal, o por lo contrario puede estar en posición horizontal, formando un ángulo de 180°. Esto se averiguará redimensionando el modelo y estudiando las diferentes medidas obtenidas del cálculo antropométrico.

Para poder medir esta distancia y empezar a redimensionar el modelo, se tomará como “línea cero” el respaldo del asiento, y a partir de ahí se medirá la distancia horizontal, y desde el suelo la vertical. Donde se crucen estas dos líneas se encontrará el punto P, y será la localización de este punto la que nos indique si la barra de agarre forma algún tipo de ángulo con la horizontal o no.

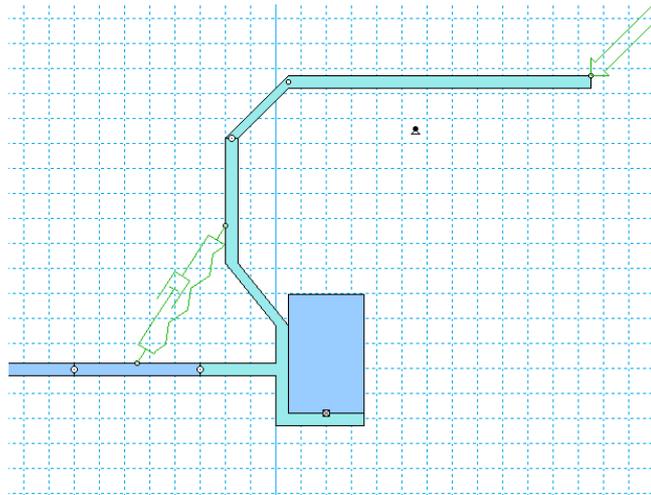


Ilustración 35. Localización del punto P (elaboración propia)

En la imagen superior el punto negro representa el punto P, es decir, el punto de agarre.

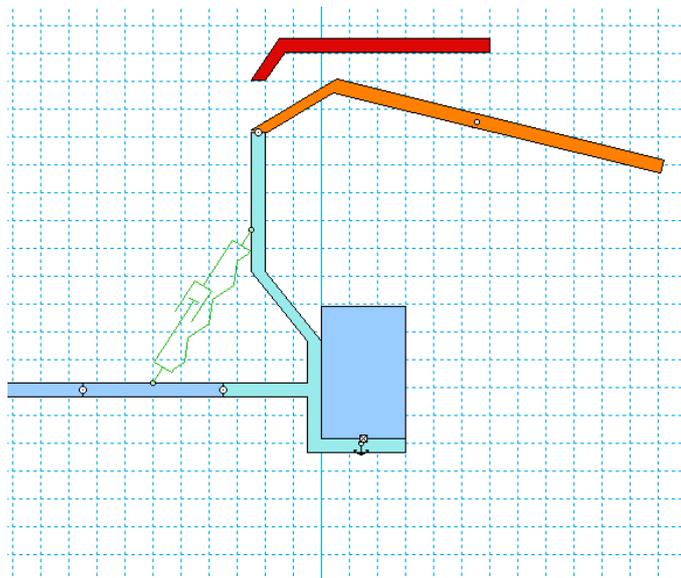


Ilustración 36. Redimensionado de la barra 4 (elaboración propia)

La barra en color naranja es la barra original, pero sólo se tiene en cuenta la parte de la barra que es más larga, puesto que es la barra de agarre, la otra parte forma

parte de la unión y por lo tanto su dimensionado no es de especial relevancia en el estudio. En este punto del estudio es donde se tiene que tener en cuenta el estudio antropométrico, puesto que según el percentil 95, el alcance máximo del brazo es de 0,785 m, y la barra se ha dimensionado con un valor de 0,800 m por lo que sería necesario reducir este valor. Teniendo en cuenta que el valor de 0,785m es máximo, no se debería tener en cuenta como distancia mínima, por lo que se ha dimensionado la barra con un valor de 0,750m de longitud, como se puede observar en la barra de color rojo.

El punto blanco situado en la barra roja en la parte del extremo derecho es el punto P correspondiente al punto de agarre, que se debe tomar como referencia para poder colocar la barra en el modelo. Aquí se resuelve la hipótesis de ángulo que forma la barra, que en este caso es de 0.11 radianes negativos medidos desde la horizontal. Estos -0,111 radianes es lo mismo que 6,17 radianes positivos, o lo que es lo mismo, 353,64 grados medidos desde la horizontal. De esto se deduce que con respecto a la horizontal, no se ha producido casi una variación en el ángulo, pero igualmente se va a tener en cuenta este ángulo para el correcto diseño de este mecanismo.

Si se redimensiona la barra superior, que ahora mide 0,750m y se orienta de forma que coincida con el punto P (el punto blanco colocado sobre la barra roja), obtenemos el punto de agarre con el cuerpo. Obteniendo este punto y redimensionando la barra, obtenemos además el punto donde se aplica la fuerza.

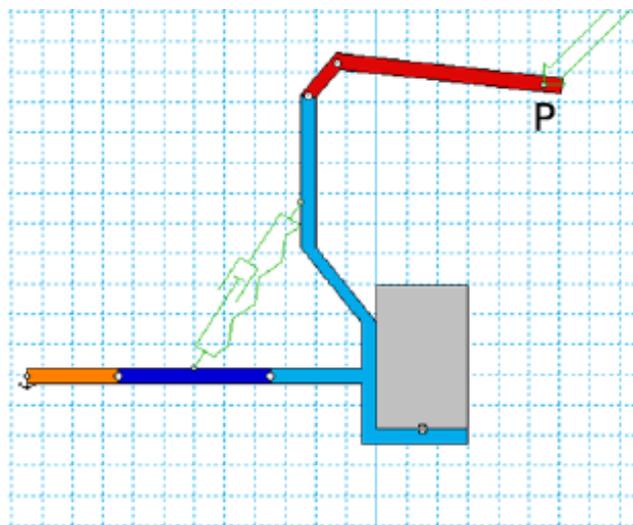


Ilustración 37. Redimensionado de la barra 4 y situación del punto P (elaboración propia)

En la imagen superior tenemos diferenciadas todas las barras, especialmente la roja, que es la que se ha redimensionado.

Para tener en cuenta la posición límite, y medir así las variaciones de distancia y establecer un criterio de parada, se considera que la posición límite es la que se puede observar en la siguiente imagen:

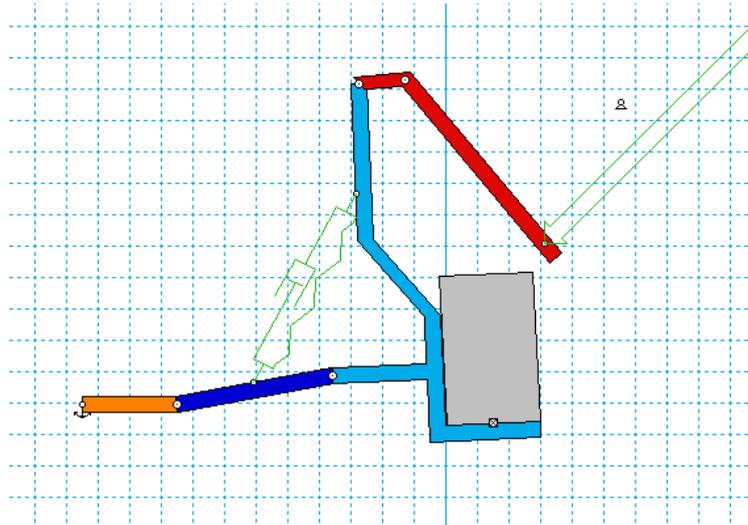


Ilustración 38. Posición final del mecanismo (elaboración propia)

Cabe destacar que esta posición final ha sido elegida de la forma más conveniente posible, intentando que sea lo más fiel a la realidad. Esta posición será la máxima para todas las barras. Si se muestran las tablas de P-V-A de las barras roja y azul claro obtenemos:

<p>Position of agarre 29</p> <table border="1"> <tr><td>x</td><td>0.178 m</td></tr> <tr><td>y</td><td>1.691 m</td></tr> <tr><td>rot</td><td>-0.111 rad</td></tr> </table>	x	0.178 m	y	1.691 m	rot	-0.111 rad	<p>P-V-A x of agarre 29</p> <table border="1"> <tr><td>Px</td><td>0.178 m</td></tr> <tr><td>Vx</td><td>0.000 m/s</td></tr> <tr><td>Ax</td><td>-1.228 m/s<sup>2</sup></td></tr> </table>	Px	0.178 m	Vx	0.000 m/s	Ax	-1.228 m/s <sup>2</sup>
x	0.178 m												
y	1.691 m												
rot	-0.111 rad												
Px	0.178 m												
Vx	0.000 m/s												
Ax	-1.228 m/s <sup>2</sup>												
<p>Rot P-V-A of agarre 29</p> <table border="1"> <tr><td>P<sub>θ</sub></td><td>-0.111 rad</td></tr> <tr><td>V<sub>θ</sub></td><td>0.000 rad/s</td></tr> <tr><td>A<sub>θ</sub></td><td>-31.799 rad/s<sup>2</sup></td></tr> </table>	P <sub>θ</sub>	-0.111 rad	V <sub>θ</sub>	0.000 rad/s	A <sub>θ</sub>	-31.799 rad/s <sup>2</sup>	<p>P-V-A y of agarre 29</p> <table border="1"> <tr><td>Py</td><td>1.691 m</td></tr> <tr><td>Vy</td><td>0.000 m/s</td></tr> <tr><td>Ay</td><td>-9.800 m/s<sup>2</sup></td></tr> </table>	Py	1.691 m	Vy	0.000 m/s	Ay	-9.800 m/s <sup>2</sup>
P <sub>θ</sub>	-0.111 rad												
V <sub>θ</sub>	0.000 rad/s												
A <sub>θ</sub>	-31.799 rad/s <sup>2</sup>												
Py	1.691 m												
Vy	0.000 m/s												
Ay	-9.800 m/s <sup>2</sup>												
<p>Position of asiento 4</p> <table border="1"> <tr><td>x</td><td>-0.097 m</td></tr> <tr><td>y</td><td>0.890 m</td></tr> <tr><td>rot</td><td>5.981e-005 rad</td></tr> </table>	x	-0.097 m	y	0.890 m	rot	5.981e-005 rad	<p>P-V-A x of asiento 4</p> <table border="1"> <tr><td>Px</td><td>-0.097 m</td></tr> <tr><td>Vx</td><td>0.000 m/s</td></tr> <tr><td>Ax</td><td>-0.742 m/s<sup>2</sup></td></tr> </table>	Px	-0.097 m	Vx	0.000 m/s	Ax	-0.742 m/s <sup>2</sup>
x	-0.097 m												
y	0.890 m												
rot	5.981e-005 rad												
Px	-0.097 m												
Vx	0.000 m/s												
Ax	-0.742 m/s <sup>2</sup>												
<p>P-V-A y of asiento 4</p> <table border="1"> <tr><td>Py</td><td>0.890 m</td></tr> <tr><td>Vy</td><td>0.000 m/s</td></tr> <tr><td>Ay</td><td>3.525 m/s<sup>2</sup></td></tr> </table>	Py	0.890 m	Vy	0.000 m/s	Ay	3.525 m/s <sup>2</sup>	<p>Rot P-V-A of asiento 4</p> <table border="1"> <tr><td>P<sub>θ</sub></td><td>5.981e-005 rad</td></tr> <tr><td>V<sub>θ</sub></td><td>0.000 rad/s</td></tr> <tr><td>A<sub>θ</sub></td><td>3.796 rad/s<sup>2</sup></td></tr> </table>	P <sub>θ</sub>	5.981e-005 rad	V <sub>θ</sub>	0.000 rad/s	A <sub>θ</sub>	3.796 rad/s <sup>2</sup>
Py	0.890 m												
Vy	0.000 m/s												
Ay	3.525 m/s <sup>2</sup>												
P <sub>θ</sub>	5.981e-005 rad												
V <sub>θ</sub>	0.000 rad/s												
A <sub>θ</sub>	3.796 rad/s <sup>2</sup>												

Ilustración 39. Posición inicial barras 3 y 4 (elaboración propia)

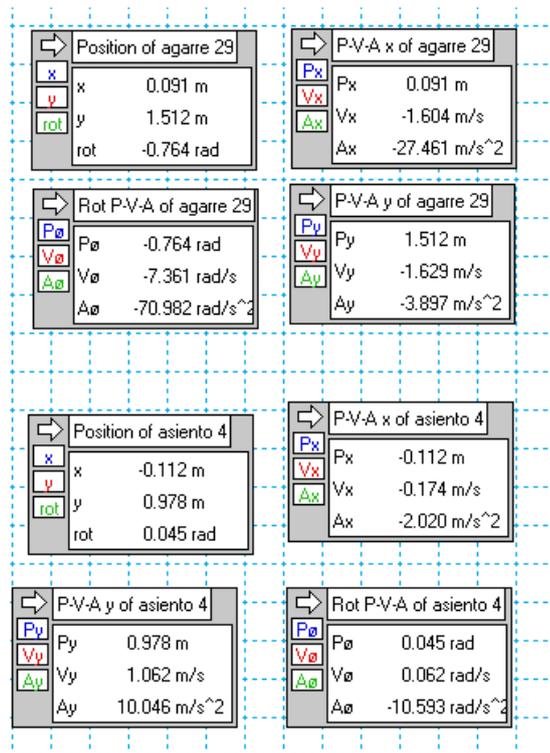


Ilustración 40. Posición final barras 3 y 4 (elaboración propia)

Las tablas correspondientes a “agarre 29”, corresponden a la barra 4 (rojo) y las del “asiento 4” a la barra 3 (azul claro). Si se comparan las posiciones iniciales con las finales, se pueden calcular las variaciones de distancias verticales y horizontales entre las barras, y calcular así lo que se mueve en horizontal y vertical el mecanismo en conjunto.

En este caso la posición del usuario varía 15mm en distancia horizontal y 88mm en distancia vertical.

Ahora, se procederá a variar alguna de las medidas del resto de las barras del mecanismo, con el fin de optimizarlo y ver si se produce alguna variación en alguno de los resultados. Si se modifica el tamaño de la barra 2 de 500mm a 300mm, vamos a ver qué variaciones hace en las barras de agarre y en el asiento:

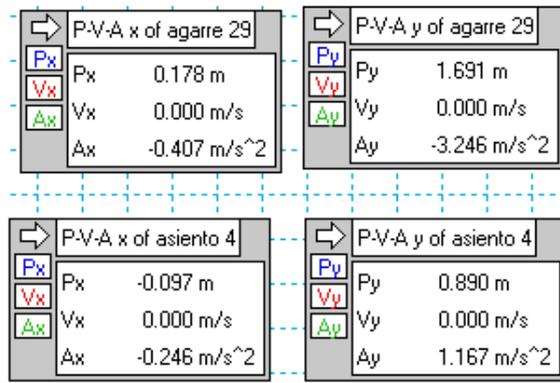


Ilustración 41. Posición inicial (elaboración propia)

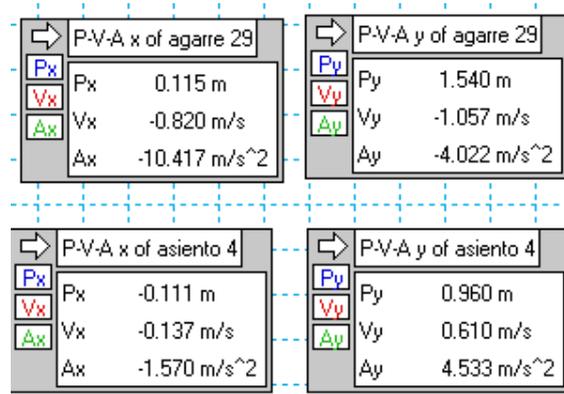


Ilustración 42. Posición final (elaboración propia)

Si se comparan las posiciones iniciales y finales una vez que se ha modificado el valor de la barra 2, se observa que en la barra de agarre la distancia horizontal ha variado 63mm y la distancia vertical 151 mm. En cuanto al asiento, la distancia horizontal ha variado 14 mm y la vertical 70 mm. Si se compara la posición del usuario con el estudio anterior, se ve que la distancia horizontal no varía prácticamente, y se aprecia que la distancia vertical se reduce unos 18mm, por lo que se podría modificar el tamaño de esta barra para reducir la distancia vertical.

En cuanto a la variación de la fuerza mínima a aplicar para poder accionar el mecanismo, se ha obtenido que la fuerza mínima a aplicar para realizar el movimiento es de -145N. Si se averigua el porcentaje de la fuerza en función del peso, se tiene que el módulo de la fuerza es el siguiente:

$$|F| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$|F| = \sqrt{(-145)^2 + (-145)^2}$$

$$|F| = 205,0609 \text{ N}$$

Expresando ahora este valor como la fuerza en función del peso, se obtiene que:

$$\frac{x}{y} = \frac{686\text{N}}{205,0609\text{N}}$$

$$\frac{x}{y} = 3,3453$$

$$x = 3,3453y$$

Obtenemos que el peso del usuario  $x$  sería 3,4136 veces la fuerza  $y$ , o proporcionalmente hablando:

$$y = \frac{x}{3,3453} \times 100$$

$$y = 29,8922 \times x \%$$

Se puede observar comparando con el caso anterior que, reduciendo el tamaño de la barra 4, correspondiente a la barra de agarre, para que sea más ergonómica y se adapte más al mayor número de personas, también se consigue reducir el porcentaje de fuerza mínima a aplicar para realizar el accionamiento del mecanismo, siendo del 29,8922%.

#### 4.4.4. Acortar tamaño barras 1 y 2

Como último caso de estudio, se procede a acortar el tamaño de la barra 1, que es la barra que va soldada a la bancada, con el fin de comprobar si se puede reducir más el factor de reducción de la fuerza en función del peso. En este caso, tampoco se ha realizado un cambio muy grande en cuanto a magnitud, siendo inicialmente la longitud de esta barra de 300 mm, y cambiándola a 200 mm para poder observar si la fuerza mínima a aplicar se reduce. También se ha acortado el valor de la barra 2, en este caso de 500mm a 300mm.

Se observa que la fuerza mínima a aplicar se reduce en 10 N, siendo ahora la fuerza necesaria para realizar el accionamiento de -135N. Expresado esto en módulo, se expresa de la siguiente forma:

$$|F| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$|F| = \sqrt{(-135)^2 + (-135)^2}$$

$$|F| = 190,9188 \text{ N}$$

Y este valor, expresado como la relación entre la fuerza y el peso:

$$\frac{x}{y} = \frac{686\text{N}}{190,9188\text{N}}$$

$$\frac{x}{y} = 3,5931$$

$$x = 3,5931y$$

Obtenemos así que el peso es 3,5931 veces el valor de la fuerza, y proporcionalmente hablando:



## 5. DISEÑO DEL MODELO FINAL

### 5.1. Bocetos y diseño previo

Una vez se tiene definido el mecanismo final y las medidas, es el momento de plantear el diseño final, el cual dará el toque estético y hará que sea más atractivo visualmente, además de complementar la funcionalidad y el uso de los mecanismos más convenientes.

Para poder tener una idea rápida de cómo se quiere que sea el diseño final, es necesario realizar bocetos, para ir aproximando las ideas hacia un resultado final, que será el que posteriormente se modelará en 3D. Un boceto, también denominado como esbozo o borrador, es aquel dibujo que se utiliza para designar al proyecto, las pruebas o el trazado primero que se hace previamente a la obra o diseño definitivo. Son dibujos cuyos trazados no son definitivos, sino que se realizan de una forma esquemática.

En cuanto a los bocetos o primeras ideas que se realizaron con este modelo, el objetivo principal era destacar este diseño de los existentes en el mercado. Muchas veces estos modelos tienen una estructura muy repetitiva, bien porque es mucho más económico realizar modelos con unas geometrías simples, o bien porque la empresa o el ingeniero que diseña el modelo no tienen como objetivo principal el aspecto estético, sino que más bien se centran en la funcionalidad del modelo.

Cabe decir que estos dos aspectos, funcionalidad y estética van estrechamente ligados en el diseño industrial, de hecho es uno de los objetivos que persigue el diseño: dotar a objetos que son atractivos visualmente de una funcionalidad, e incluso que tengan varias opciones funcionales.

Como fase previa a los bocetos, se revisaron los modelos existentes en el mercado y se fijaron unas pautas de diseño. Uno de los aspectos que más se quería modificar era el soporte principal que va fijado al suelo. En este aspecto, el diseño del poste principal muchas veces no se tiene en cuenta puesto que no se considera de especial relevancia, pero si se pone en valor el aspecto estético y se mejora, puede cambiar por completo el diseño final, aunque el resto de elementos se diseñen de una forma simple. Es por ello que el objetivo principal de los bocetos era crear un soporte principal diferente a los que se tienen en el mercado. Si bien es verdad que el resto de elementos que conforman el modelo no pueden innovarse mucho, puesto que son partes que están muy ligadas a la ingeniería y que, por tanto, tienen que estar estandarizadas (se habla de los perfiles normalizados), se ha decidido que el soporte principal tenga esta característica. Además, se ha observado con cierto detalle la forma del asiento y de los agarradores, puesto que la ergonomía es también uno de los aspectos principales a tener en cuenta en este proyecto. Se han pensado formas que sean cómodas y ergonómicas al usuario, además de ser atractivamente visuales.

A continuación se muestran los bocetos que se han ido realizando, y finalmente se elegirá el definitivo, que posteriormente se desarrollará con más detalle y se modelará

**Propuesta 1:**

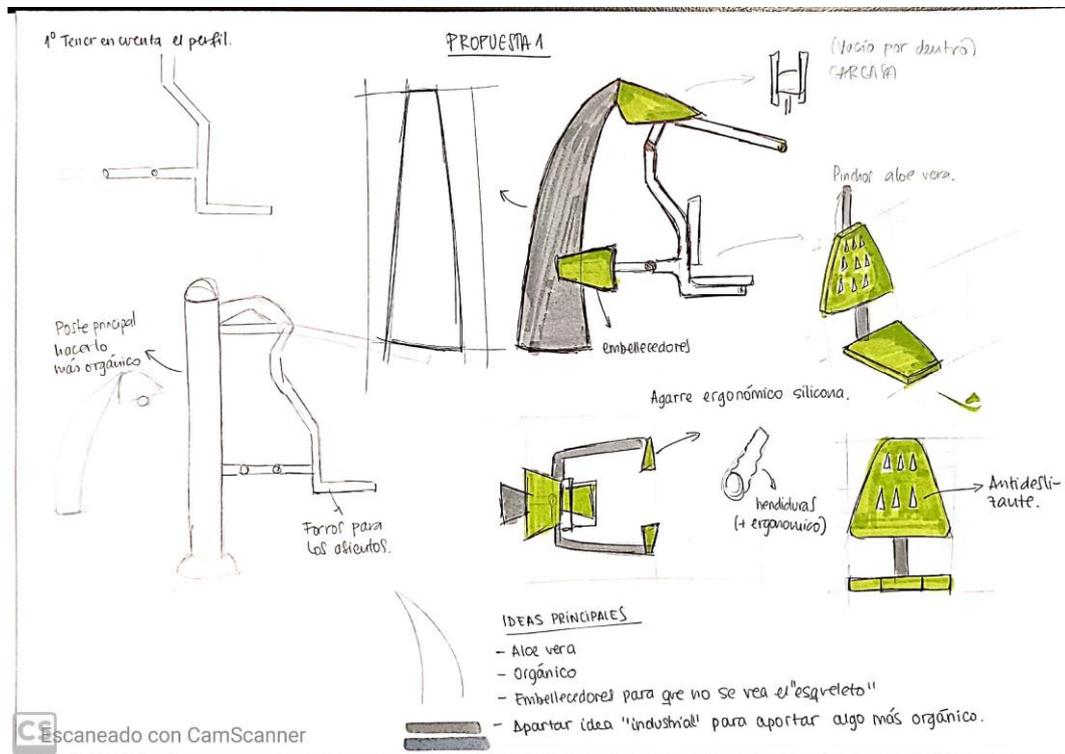


Ilustración 44. Propuesta 1 de diseño (elaboración propia)

Esta primera propuesta, se diferencia bastante de las demás que se mostrarán a continuación puesto que persigue un objetivo más estético, es más abstracta visualmente hablando. La inspiración principal son las hojas de la planta del aloe vera, esta forma orgánica sirve de inspiración para diseñar tanto el poste principal como los "embellecedores". También se ha pensado en este aspecto puesto que muchas veces este tipo de máquinas tienen una forma muy industrial, y con este tipo de embellecedores se aporta el toque estético sin perder la forma original. También se observa en los asientos que tienen pequeños agujeros en forma de triángulos, simulando los pinchos que se encuentra en los extremos de las hojas de aloe vera. Se ha pensado también en la comodidad del usuario, y por tanto también se ha decidido que estos asientos sean antideslizantes para una mayor comodidad, además de los agarradores, que tienen hendiduras para que sea más cómodo agarrarlos y más ergonómico.

**Propuesta 2:**

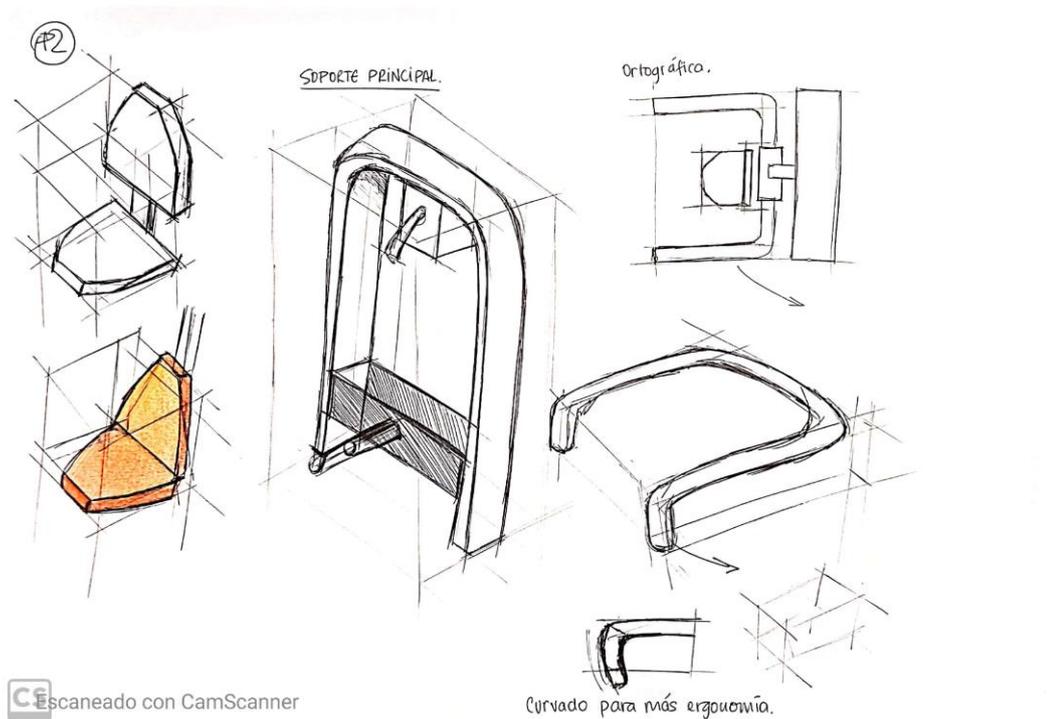


Ilustración 45. Propuesta 2 (elaboración propia)

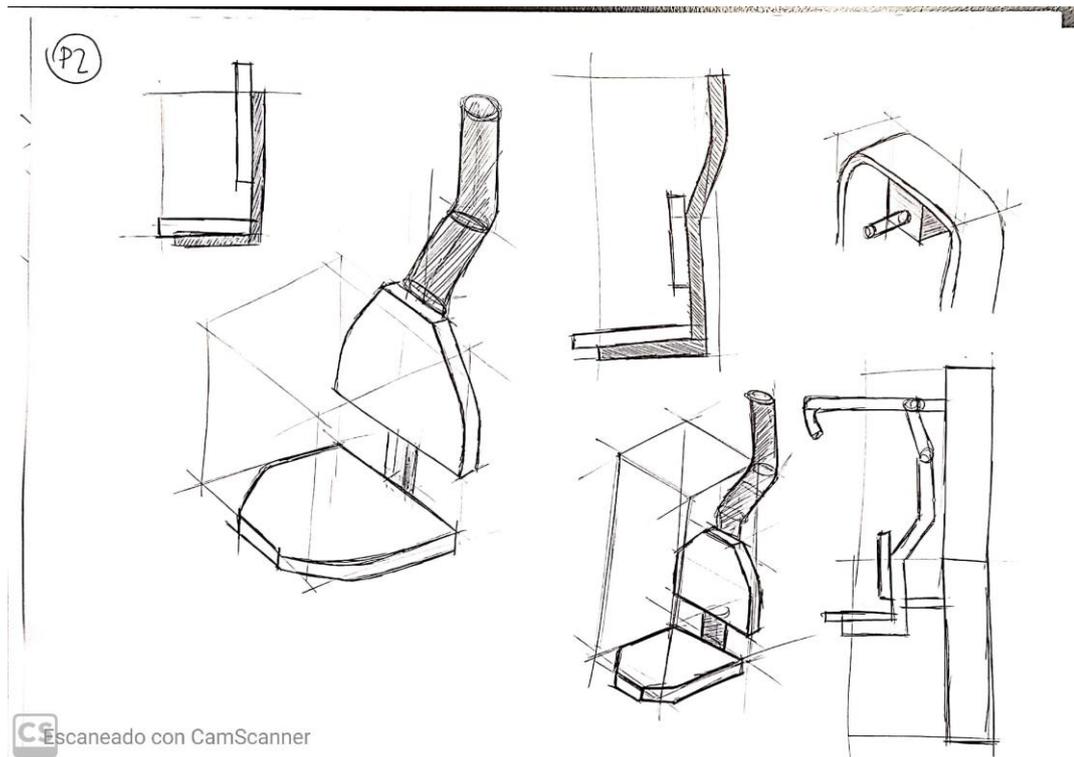


Ilustración 46. Propuesta 2. Detalles. (Elaboración propia)

Esta propuesta se centra también en el soporte principal, que se compone de una U invertida con dos uniones, una en la parte superior y otra en la inferior, que sirven de soporte para el resto de piezas. Algunos aspectos relevantes son la forma de los agarradores, que han sido inspirados en los manillares de las bicicletas de

competición puesto que su forma es muy ergonómica. En este caso los asientos tienen forma de medio hexágono y también son antideslizantes.

**Propuesta 3:**

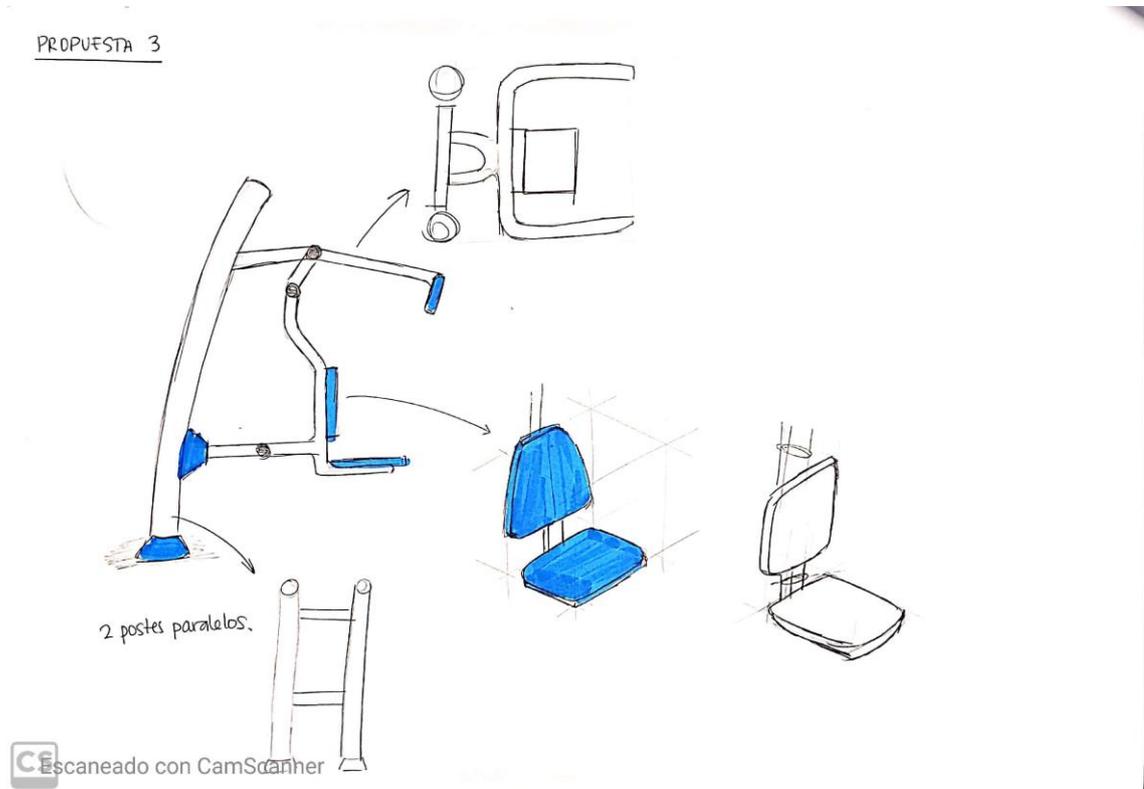


Ilustración 47. Propuesta 3 (elaboración propia)

En la propuesta 3, el soporte principal está compuesto por 2 postes paralelos que están inclinados para dar más sensación de dinamismo y movimiento. El resto de componentes se han diseñado siguiendo las pautas de las propuestas anteriores.

**Propuesta 4:**

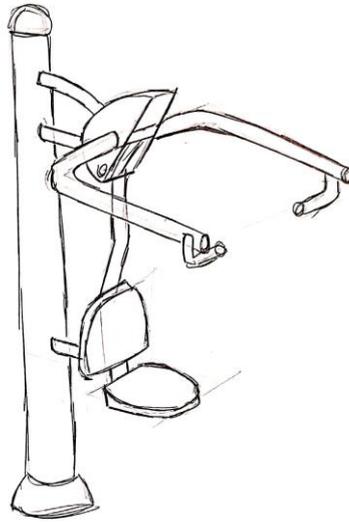


Ilustración 48. Propuesta 4 (elaboración propia)

Este último diseño se ha realizado de acuerdo con lo que se puede encontrar en el mercado, en el cual la única peculiaridad que se puede encontrar es la forma que poseen los agarradores.

## 5.2. Diseño final

Una vez revisados todos los bocetos, y comparándolos entre sí, se muestran a continuación una serie de conclusiones que dan lugar a la elección del modelo final.

Empezando con la cuarta y última propuesta, se ha descartado la primera debido a su simplicidad, ya que uno de los objetivos es que sea diferente a lo que se pueda encontrar normalmente, y ésta realmente no difiere de lo que hay actualmente en el mercado.

En cuanto a las propuestas 1 y 3, ambas son parecidas en cuanto a la curvatura del soporte principal, y se ha planteado elegir un punto medio entre ambas propuestas, eligiendo la idea de la propuesta 1. Explicándolo un poco mejor, el “esqueleto” sería la estructura de la propuesta 3, y de la 1 se cogerían los embellecedores para dotarla de ese aspecto más orgánico. Uno de los contras de este modelo es que los procesos de fabricación serían bastante complejos comparado con otras propuestas. Esto no supone un inconveniente en cuanto a costes, puesto que prima el aporte estético en este caso, pero se duda de que los procesos que se puedan aplicar den unos resultados satisfactorios en el modelo.

Por último, se tiene la propuesta 2, cuya estética destaca por encima de las demás, llegando a impactar si se observa por primera vez. Es un modelo muy característico debido a su inusual estructura principal de U invertida. Este modelo, por lo contrario, no presenta especiales inconvenientes en cuanto a los procesos de

fabricación, y además presenta la singularidad de que el asiento es intercambiable, es decir, que al ser del mismo tamaño el respaldo y el asiento y ser dos piezas que están separadas, no habría problemas de retirar por si hubiera algún problema. Además, con un único molde se podrían fabricar ambas piezas.

Cada una de las piezas que forman este modelo será modelada individualmente, y posteriormente se ensamblarán con el módulo Assembly de Catia, simulando los procesos que en cada caso corresponda. En los casos en los que intervengan elementos normalizados, se elegirán de catálogo y siguiendo siempre la normativa vigente, y se indicará el modelo y diámetro utilizado, señalándolo en el catálogo.

### 5.3. Modelado en Catia v5

En base a lo que se diseñó en la etapa previa correspondiente a los bocetos, en esta parte del proyecto, se procede a modelar la máquina biosaludable utilizando el programa Catia V5. En este apartado del proyecto se irán explicando las diferentes partes de la máquina y cómo se han ido ensamblando según los criterios que más adelante se explicarán.

Comenzando con el soporte principal, parte que se considera la más llamativa de este proyecto, quizás por su forma, que la distingue de otros modelos que pueden encontrarse en el mercado, se comenzaron fijando las diferentes medidas que conformaban esta parte de la máquina. Cabe decir que esta parte irá sufriendo modificaciones según se vaya avanzando en el proyecto.

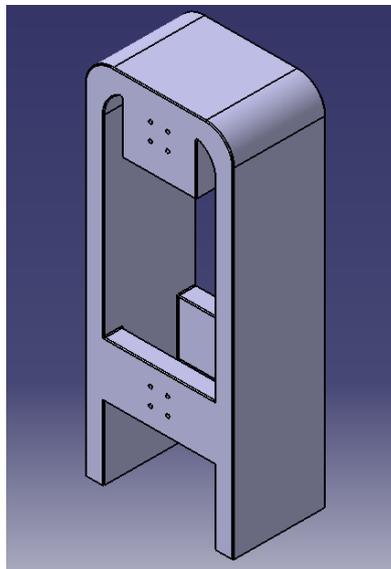


Ilustración 49. Idea inicial del soporte principal (elaboración propia)

Tal y como se puede observar en la imagen superior, el soporte principal tendría esta forma de U invertida, en la que se pueden ver dos uniones, una en la parte superior y otra en la parte inferior, que corresponden a los soportes que sirven de unión para las piezas que van a dar al asiento y a las barras superiores de agarre. En un principio se hicieron 4 agujeros para unir mediante pernos y tuercas las

uniones al soporte, pero más adelante se explicará por qué no son necesarios este tipo de elementos de unión en esta parte de la máquina.

Si se sigue con la parte inferior, se tener la siguiente parte:

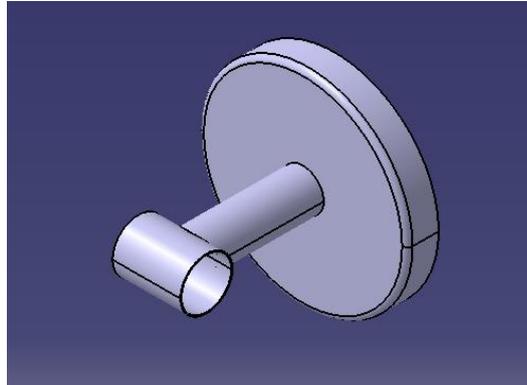


Ilustración 50. Unión al soporte inferior (elaboración propia)

Esta unión es la que se plantea inicialmente, la modificación que se realizará más adelante será sólo la variación de su longitud por motivos que se explicarán una vez que se tenga el modelo completo.

A continuación se muestra la unión entre esta barra que va unida al soporte principal, y la barra que va soldada al perfil del asiento. Esta barra no ha sufrido ninguna modificación, y por lo tanto se muestra de la siguiente forma:

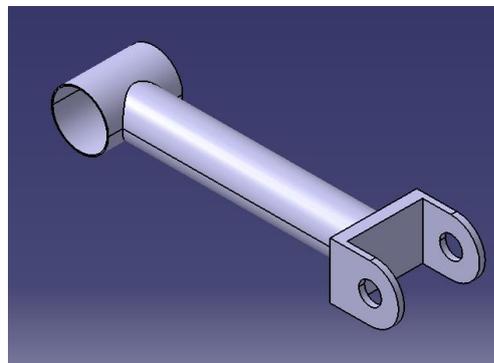


Ilustración 51. Unión intermedia (elaboración propia)

La siguiente parte corresponde al perfil del asiento. En este caso se explicarán las partes que intervienen puesto que, por una parte se tiene el perfil del asiento, y por otra parte se tienen el respaldo y el asiento, los cuales van atornillados al perfil mediante los elementos normalizados que se explicarán más adelante en este proyecto.

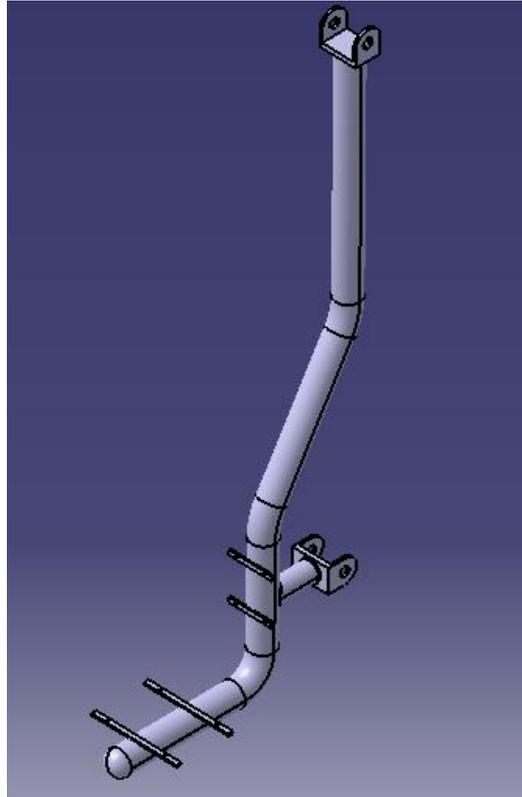


Ilustración 52. Perfil del asiento (elaboración propia)

Tal y como se puede ver en la imagen superior, el perfil del asiento es un perfil continuo formado por un tubo de acero que va siguiendo la curvatura del asiento, hasta unirse en la parte superior con el soporte que da lugar a las barras de agarre, que se explicarán a continuación. Destacar además de este perfil que inicialmente tenía una longitud más larga de unión a la barra intermedia que se ha mencionado anteriormente, pero que posteriormente se redujo para reducir la distancia entre el soporte de las barras de agarre y el soporte principal.

A continuación se muestran el asiento y el respaldo, la única diferencia que se puede encontrar en estas dos piezas son las distancias entre los agujeros para los tornillos:

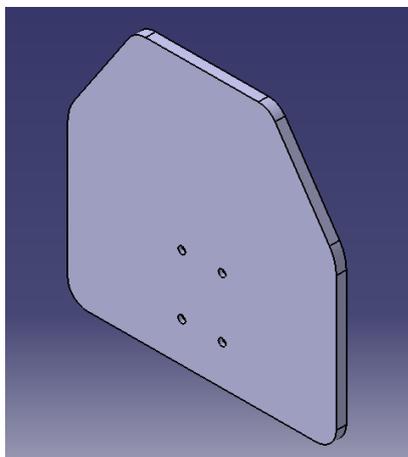


Ilustración 53. Respaldo (elaboración propia)

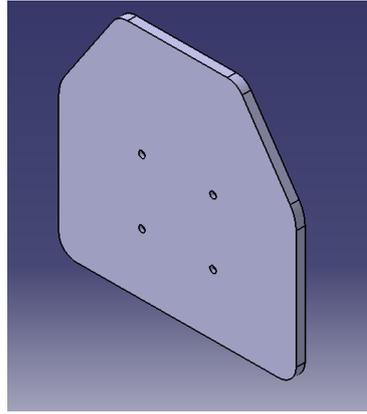


Ilustración 54. Asiento (elaboración propia)

A continuación, se muestra la parte superior correspondiente a las barras superiores de agarre y los manillares de agarre:

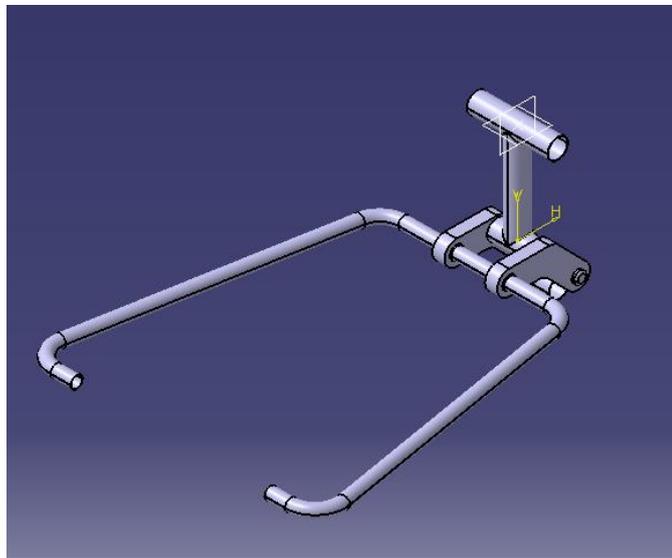


Ilustración 55. Barras superiores de agarre (elaboración propia)

Tal y como se puede ver en la imagen superior, se tienen las dos barras paralelas que dan lugar a los manillares. Si se ve esta pieza en planta, se puede observar que estas barras forman un ligero ángulo con la vertical, para reducir así el ancho total y que sea más cómodo para el usuario.

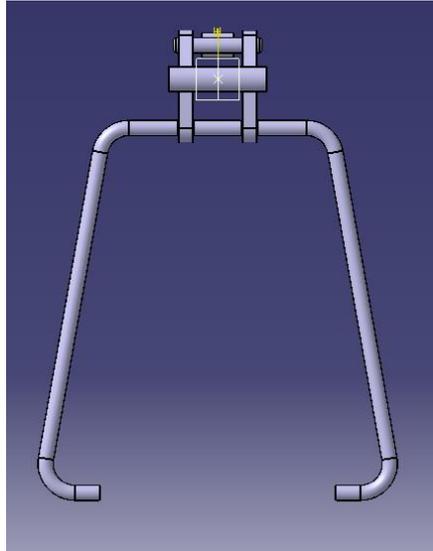


Ilustración 56. Vista en planta de las barras superiores (elaboración propia)

A continuación se muestran los manillares de agarre:

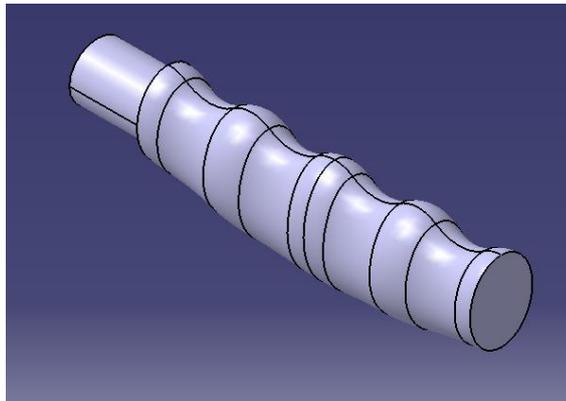


Ilustración 57. Manillar de agarre (elaboración propia)

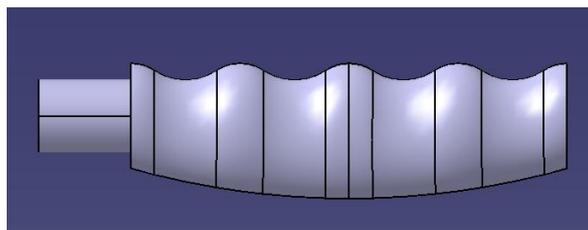


Ilustración 58. Vista frontal del manillar de agarre (elaboración propia)

La forma peculiar que tienen estos manillares de agarre se debe a que se han tomado como referencia los manillares de las bicicletas, para hacer que estos sean mucho más ergonómicos y cómodos de agarrar, puesto que en la mayoría de modelos que se pueden encontrar no se encuentra esta característica. Esta pieza va unida a los extremos de las barras superiores de agarre, mencionadas anteriormente.

Seguidamente, se muestra el soporte principal con las modificaciones realizadas. Una vez que se ensamblaron todas las piezas, se procedió a diseñar la unión de

las barras superiores al soporte principal, y se cayó en la cuenta de que la distancia entre ambas piezas era demasiado larga para la estabilidad de la estructura, por lo que se procedió a acortar la longitud de la barra que va soldada al perfil del asiento y la barra que va unida al soporte inferior. Además, también se realizaron modificaciones en el soporte principal, creando unas ondas con forma de ola en las uniones a las barras para dar a la estructura de una forma más orgánica y no tal industrial, tal y como se puede ver en las imágenes que vienen a continuación:

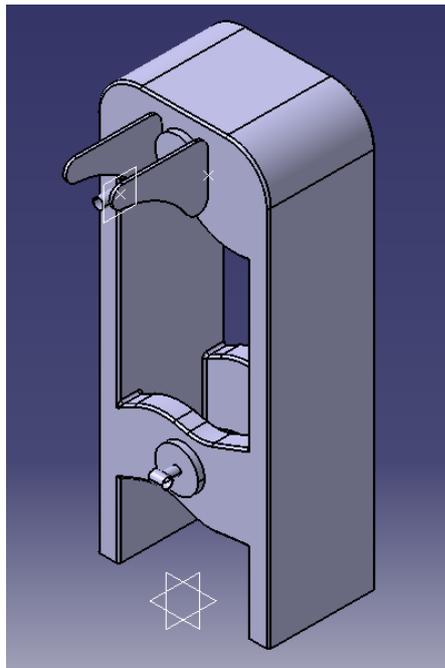


Ilustración 59. Soporte principal final (elaboración propia)

Se procede a explicar la parte superior del soporte principal. Para que se vea con un poco más de detalle, se adjunta un aumento de esta pieza:

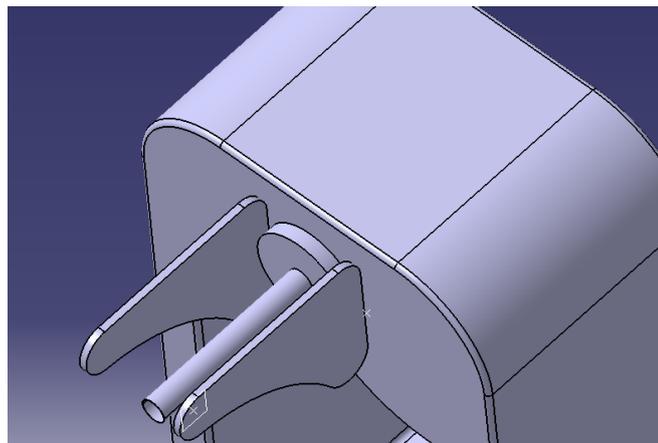


Ilustración 60. Aumento vista superior soporte principal (elaboración propia)

Se ha decidido añadir esta dos tapas laterales debido tanto una función estructural como estética. La función estética que tienen estas dos cubiertas es para que el soporte auxiliar interior no esté al alcance de la vista y se pierda el aspecto

industrial para añadir uno más orgánico. La función estructural es que estas dos piezas van unidas al soporte que da a las barras paralelas, y por lo tanto sirven de apoyo para repartir las fuerzas repartidas sobre esta barra. Esto se puede ver mejor en la siguiente imagen:

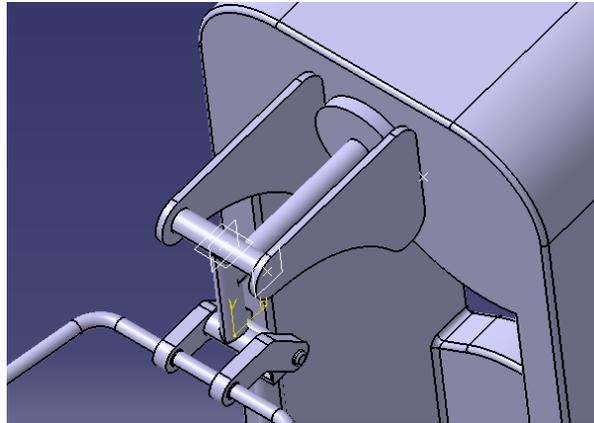


Ilustración 61. Unión soporte principal a barras de agarre (elaboración propia)

Una vez explicadas todas las partes que conforman la máquina biosaludable, se procede a enseñar unas imágenes de todo el conjunto:

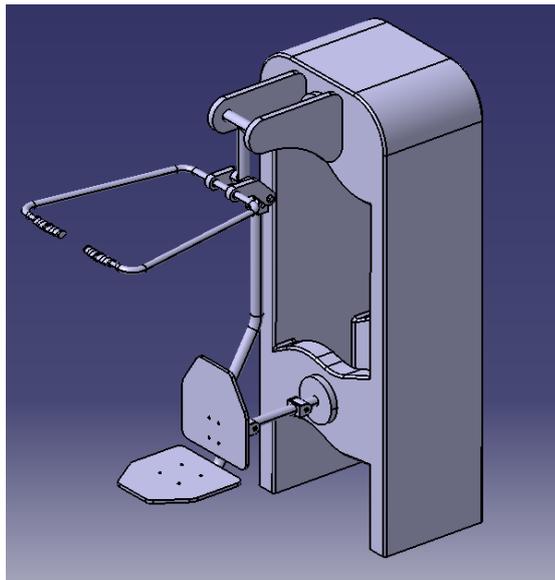


Ilustración 62. Vista general de la máquina biosaludable (elaboración propia)

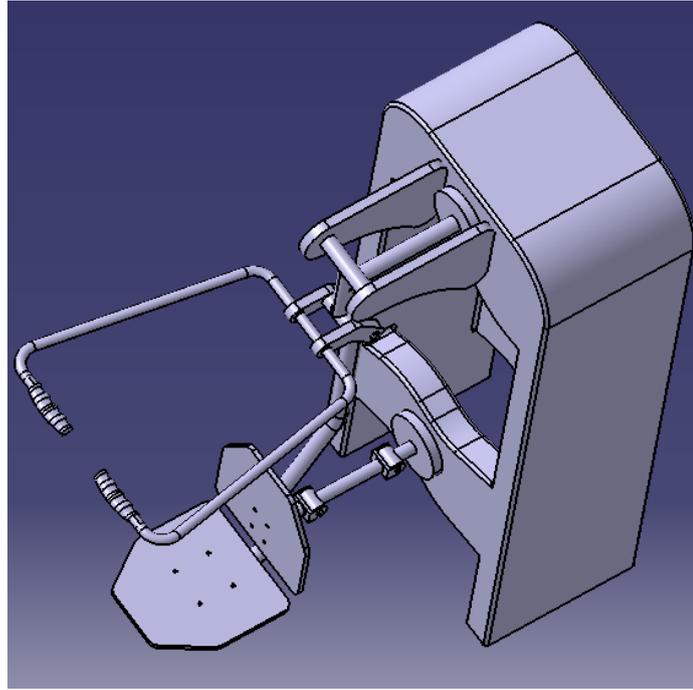


Ilustración 63. Vista en planta de la máquina biosaludable (elaboración propia)

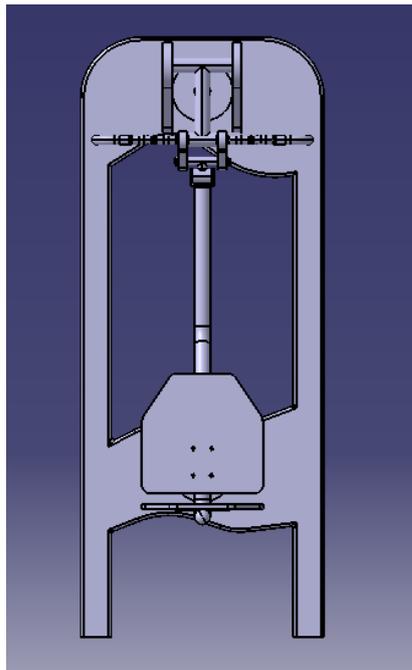


Ilustración 64. Vista frontal

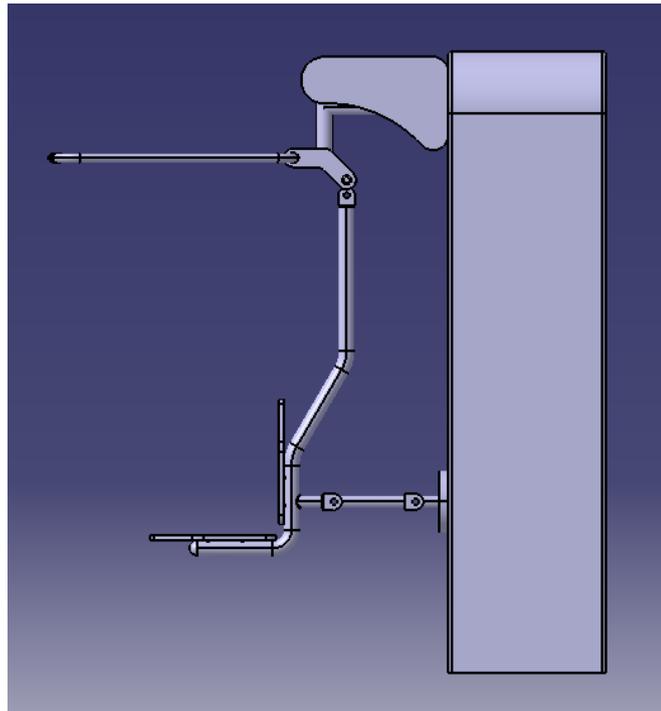


Ilustración 65. Vista lateral (elaboración propia)

Este diseño no corresponde al diseño final, sino a un prediseño que definirá la estructura y las partes principales. El diseño final se definirá a los resultados obtenidos en el análisis por elementos finitos que se realizará más adelante en este proyecto, en el cual se mostrarán todas las dimensiones finales y el diseño final de todas las partes que conforman esta máquina biosaludable.

## 6. CÁLCULO POR EL ESTUDIO DE ELEMENTOS FINITOS (INVENTOR)

Una vez realizado el prediseño y ser modelado en Catia, el siguiente paso de este proyecto es comprobar si la máquina diseñada está bien dimensionada y si es capaz de soportar una serie de esfuerzos a los que se le va a someter. Se comprobará si los materiales que se han elegido son los adecuados y se mostrarán los puntos más críticos de la estructura. Además, se propondrán soluciones de mejora para concluir con el diseño de la máquina biosaludable.

Antes de realizar todo esto que se ha mencionado, es necesario comentar algunas nociones básicas del programa con el que se van a realizar todas estas partes del estudio, y explicar en qué consiste y para qué se ha utilizado en este proyecto.

Inventor es un programa muy utilizado en el diseño de sistemas mecánicos, puesto que permite analizar, simular y representar estos sistemas de una forma muy eficaz y flexible. En el caso de este proyecto, se utilizará el análisis de esfuerzos y la simulación dinámica.

Dentro del proceso de simulación dinámica, el análisis de esfuerzos se centra en cuatro aspectos importantes:

- Idealización: se basa en la generación y simplificación de la geometría y de la configuración de la simulación. En este caso, la geometría ya está creada, por lo que sólo habría que configurar la simulación.
- Condiciones de contorno: en este apartado se aplican las restricciones y las cargas a las que está sometido el mecanismo.
- Simulación y análisis: se analizan los resultados obtenidos además de la convergencia.
- Optimización: se modifican aquellos aspectos de la geometría con el fin de optimizarla en base a los resultados que se han obtenido en el apartado anterior de la simulación.

El primer paso para realizar un análisis de esfuerzos, una vez definida la geometría, es clicar en la ventana que pone “Crear simulación”, tal y como se muestra en la imagen inferior:

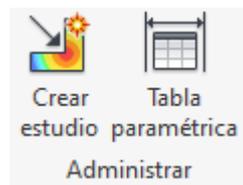


Ilustración 66. Administrar (elaboración propia)

Una vez que se ha clicado sobre este icono, aparecerá una ventana en la que se muestran los tipos de simulación, análisis estático y análisis modal, tal y como se muestra a continuación:

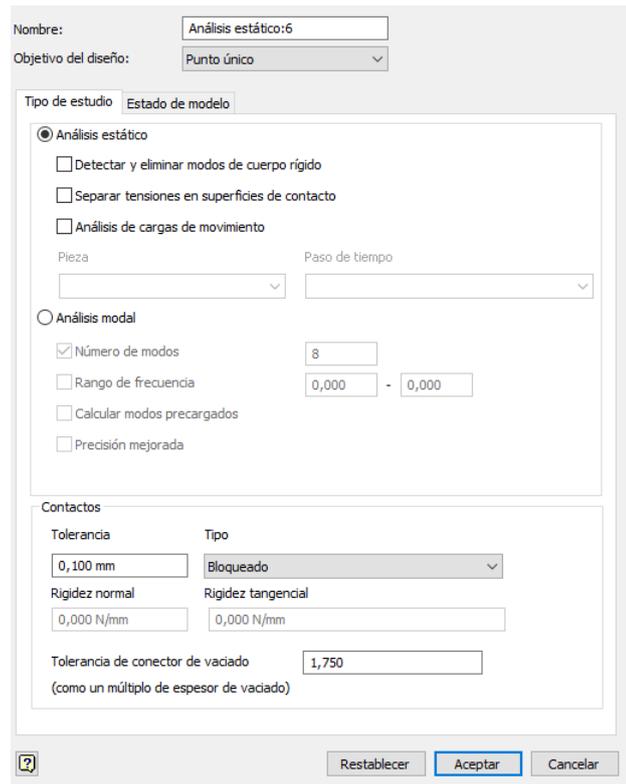


Ilustración 67. Tipos de simulación (elaboración propia)

En el caso de este proyecto, se realizará un análisis estático, con la casilla de “detectar y eliminar modos de cuerpo rígido” activada.

Una vez que se ha obtenido esto, el siguiente paso es aplicar los materiales. Normalmente este paso se haría antes de crear la simulación, pero si por lo que sea, no se ha aplicado el material, hay una opción que se denomina aplicar material.

Ahora, se pasa a las restricciones. En el análisis de esfuerzos existen tres tipos de restricciones:

- Fijas: se puede fijar en un punto, borde o cara. Evita los desplazamiento en las direcciones x, y y z.
- De pasador: esta restricción sólo puede ser aplicada sobre superficies cilíndricas. Permite el movimiento tangencial, permitiendo a la superficie cilíndrica rotar libremente.
- Sin fricción: sólo puede definirse sobre superficies planas y permite el movimiento libre sobre el plano, restringiendo el movimiento normal a la superficie de deslizamiento.

Una vez definidas las restricciones, a continuación se muestran las cargas en función de sus tipos:

- Fuerza
- Presión
- Rodamiento
- Momento

## ESTUDIO DE UN APARATO BIOSALUDABLE: EL ASCENSOR

- Gravedad
- Fuerza Remota
- Cuerpo

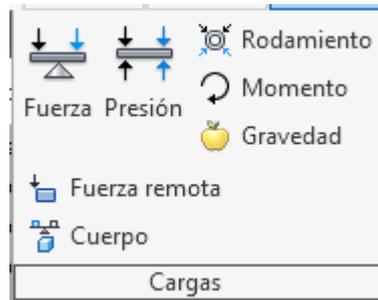


Ilustración 68. Tipos de cargas (elaboración propia)

A continuación, se procede al mallado de la pieza. Este proceso tiene 4 aspectos principales:

- Generar mallado
- Configuración de la malla
- Control local de la malla
- Configuración de convergencia (20)

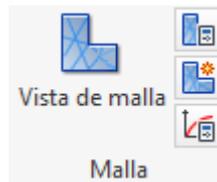


Ilustración 69. Mallado (elaboración propia)

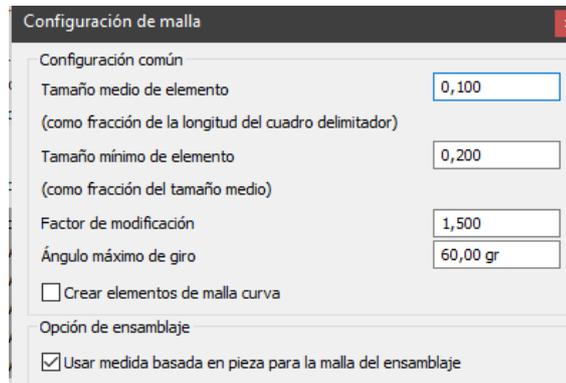


Ilustración 70. Configuración de malla (elaboración propia)

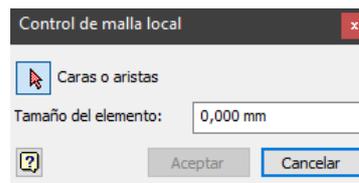


Ilustración 71. Control de malla local (elaboración propia)

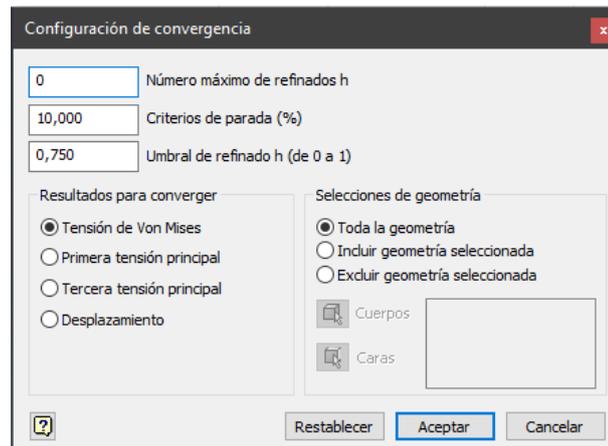


Ilustración 72. Configuración de la convergencia (elaboración propia)

En cuanto al soporte principal, será necesario realizar un análisis de estructuras. A continuación se muestra cómo se procede a realizar dicho análisis. Se utiliza para definir las condiciones de contorno (cargas y restricciones) y las conexiones entre los nodos y las vigas. En este caso, es necesario especificar el tipo de viga que se va a utilizar, además del material. Todas las restricciones y cargas utilizan la visualización contextual. Después se especifican las restricciones. Una vez realizado todo esto, se procede a realizar la simulación. Para poder mostrar los resultados importantes de las vigas, se pueden añadir los diagramas que se quieran mostrar.

Una vez explicado en qué consiste el programa y cómo se utiliza, se procede a explicar cómo se realizará el estudio en esta parte del proyecto. En el caso de esta máquina biosaludable, la primera parte del análisis consiste en identificar aquellas partes de la máquina destinadas a transmitir fuerzas. Una vez diagnosticadas estas partes, se procederá a calcular la magnitud de estas fuerzas para poder introducir las en el programa. Esto tendrá que realizarse mediante diagramas de sólido libre. Cabe decir que la magnitud de estas fuerzas no será la que se ha utilizado en el programa Working Model, sino que estarán multiplicadas por un coeficiente de seguridad que se escogerá en base a la normativa aplicable, es decir, la norma UNE-EN 16630:2015, relativa a equipos de entrenamiento físico instalados al aire libre. (21)

Puesto que esta norma no menciona directamente los coeficientes de seguridad, se ha estado buscando una normativa que aunque no sea de aplicación, se pueda tomar como referencia, y se ha encontrado la normativa relativa a equipos fijos de entrenamiento, en la cual se establece que el coeficiente de seguridad para equipos de uso público será de 2,5. Este factor de seguridad habrá que multiplicarlo por las fuerzas que se vayan a utilizar en el estudio, con el fin de comprobar si la máquina resistiría en casos de usos no convencionales, tales como vandalismo.

Antes de realizar los diagramas y calcular las fuerzas con el coeficiente de seguridad, se explicará qué partes de la máquina se van a analizar. Por una parte se tendrá el perfil del asiento, omitiendo el asiento y el respaldo que van

atornilladas al perfil; luego se analizará la parte superior, correspondiente a las barras superiores de agarre, sin incluir los manillares de agarre para simplificar geometrías; después se analizará la barra de unión del perfil al soporte principal, y por último se analizará el soporte principal, que tal y como se ha explicado anteriormente, será una estructura formada por tubos de sección hueca cuadrada.

A continuación, se procede a calcular las fuerzas reales con el coeficiente de seguridad. Estas fuerzas son las que se han escogido en base a los estudios realizados con el programa Working Model. Para una masa de 70 kg, se estableció que la fuerza mínima de accionamiento era 135 N. La masa de 70 kg, expresado en Newtons es:

$$70 \times 9.8 = 686 \text{ N}$$

Una vez que se tienen estos 686 N, correspondientes al peso, y los 135 N, correspondientes a la fuerza mínima de accionamiento, se procede a multiplicar estas magnitudes por el coeficiente de seguridad:

$$686 \times 2.5 = 1715 \text{ N}$$

$$135 \times 2.5 = 337.5 \text{ N}$$

Estos últimos 337.5 N van repartidos entre los dos manillares de agarre, por lo que habrá que dividir esta magnitud entre dos:

$$\frac{337.5}{2} = 168.75 \text{ N}$$

Por lo que estos 168.75 N serán utilizados como dos cargas puntuales.

En cuanto a los 1715 N de la carga que ocupa el asiento, se ha mencionado anteriormente que sólo se utilizará el perfil, por lo que esta carga se dividirá en 4 cargas puntuales que se situarán en los agujeros donde se atornilla el asiento. Por lo que, si se divide esta carga, se tiene que:

$$\frac{1715}{4} = 428.75 \text{ N}$$

Estas son las únicas fuerzas de las que tenemos conocimiento. Ahora es el turno de realizar los diagramas de sólido libre, para hallar las fuerzas de reacción en el punto de unión con las diferentes partes de la máquina.

Un diagrama de sólido libre es un boceto de un objeto despojado de todos los objetos que lo rodean y mostrando todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo. En este caso el diagrama de sólido libre se rige por la segunda ley de Newton:

$$\sum F = m \times a$$

En este caso, al tratarse de un análisis estático, se tiene que las aceleraciones son cero y por tanto, la masa no es un factor a calcular, por lo que la fórmula queda de la siguiente forma:

$$\sum F = 0$$

Este sumatorio de fuerzas se desglosa en fuerzas horizontales y verticales, por lo que los sumatorios se reducen a un sistema de dos ecuaciones:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

Cabe decir que una vez que se tengan estas fuerzas también se deben calcular las reacciones en la estructura principal, que deberá tratarse como un empotramiento, por lo que también habrá que calcular los momentos que intervienen en este empotramiento, por lo que también se introduce sumatorio de momentos:

$$\sum M = 0$$

Una vez que tenemos estas fórmulas, en este momento se dan todas las condiciones para el equilibrio de un cuerpo rígido.

Ahora, una vez que tenemos todo esto expresado, es necesario trasladar las fuerzas en tres dimensiones a un cuerpo en dos dimensiones para poder realizar los diagramas. Para ello, necesitamos saber primero las dimensiones de las que estamos hablando.

### 6.1. Análisis del perfil del asiento

A continuación se muestra el diagrama del sólido libre del perfil del asiento, en el cual se han omitido algunas distancias para que se pueda apreciar mejor el diagrama:

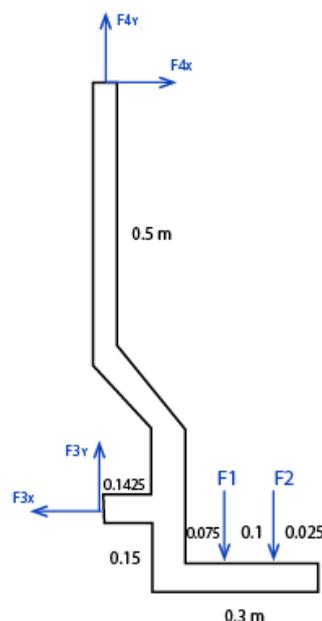


Ilustración 73. Diagrama de sólido libre del perfil del asiento (elaboración propia)

Las fuerzas F1 y F2 corresponden a dos de las fuerzas puntuales en las que se divide el peso, por lo que F1 y F2 ambas tienen una magnitud de 428.75 N. Se va

a omitir incluir las ecuaciones de equilibrio y la resolución de los sistemas de ecuaciones con el fin de simplificar el estudio.

Realizando ecuaciones de equilibrio, obtenemos los siguientes valores de las fuerzas y el sentido de las fuerzas:

$$F_{3x} = F_{4x} = -345.25N$$

$$F_{3y} = 814.62N$$

$$F_{4y} = 42.87 N$$

Aquellas magnitudes que tengan un signo negativo, significará que tendrán un sentido diferente al que se ha establecido en el diagrama de sólido libre. Además, estas magnitudes no son las que hay que introducir en el programa, sino que realmente son el doble, puesto que sólo se han tenido en cuenta dos de las cuatro cargas puntuales que se encuentran en el asiento, por lo que se introducirán las siguientes medidas en las cargas a aplicar en el programa:

$$F_{3x} = F_{4x} = -690.5N$$

$$F_{3y} = 1629.24 N$$

$$F_{4y} = 85.74 N$$

Una vez calculadas estas fuerzas de acción y reacción, es hora de establecer las restricciones en el modelo. En este caso, las restricciones van a ser de pasador, puesto que en las uniones donde van estas restricciones se encuentran pares de revolución, por lo que la restricción más adecuada es esta.

A continuación se muestra una imagen del software Inventor donde se muestra el perfil con las restricciones y las cargas, además del mallado del perfil:

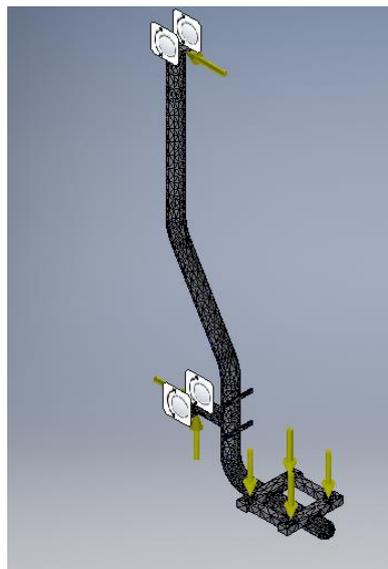


Ilustración 74. Perfil del asiento con cargas y restricciones (elaboración propia)

Antes de realizar el análisis de tensión y la simulación, se muestra la configuración de malla y la de convergencia.

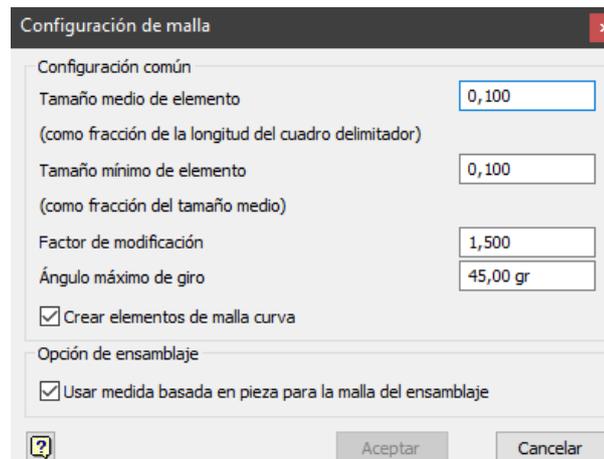


Ilustración 75. Configuración de malla (elaboración propia)

Como se puede observar, se ha establecido un tamaño medio de malla de 0,100, al igual que el tamaño mínimo del elemento, que también tiene un valor de 0,100. Estos valores se han establecido en base a los criterios que aconseja establecer el programa para obtener unos valores de mallado aceptables. Además, se ha establecido un ángulo máximo de giro de 45°, siendo los valores aconsejados que estén entre 30° y 60°.

En cuanto a los criterios de convergencia, se muestra a continuación la configuración de los valores de convergencia:

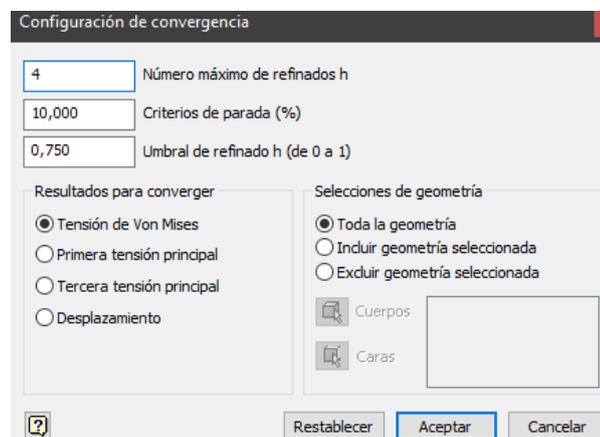


Ilustración 76. Configuración de convergencia (elaboración propia)

Se ha establecido un número máximo de refinados de 4, puesto que es lo que aconseja aplicar el programa para obtener unos valores de convergencia aceptables. El resultado del mallado da un número de 33325 nodos y 17027 elementos. Se considera que el cuerpo ha mallado de una forma aceptable y adaptándose de una forma correcta a la geometría, por lo que se procede a realizar la simulación.

## ESTUDIO DE UN APARATO BIOSALUDABLE: EL ASCENSOR

Algunas consideraciones del material antes de empezar la simulación.  
Propiedades del material:

Nombre	Acero, galvanizado	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa
Tensión	Módulo de Young	200 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	76,9231 GPa
Nombre(s) de pieza	PERFIL ASIEN TO 3 modif ic	

Ahora, ya se puede proceder a realizar la simulación, con lo que se obtienen los siguientes resultados:

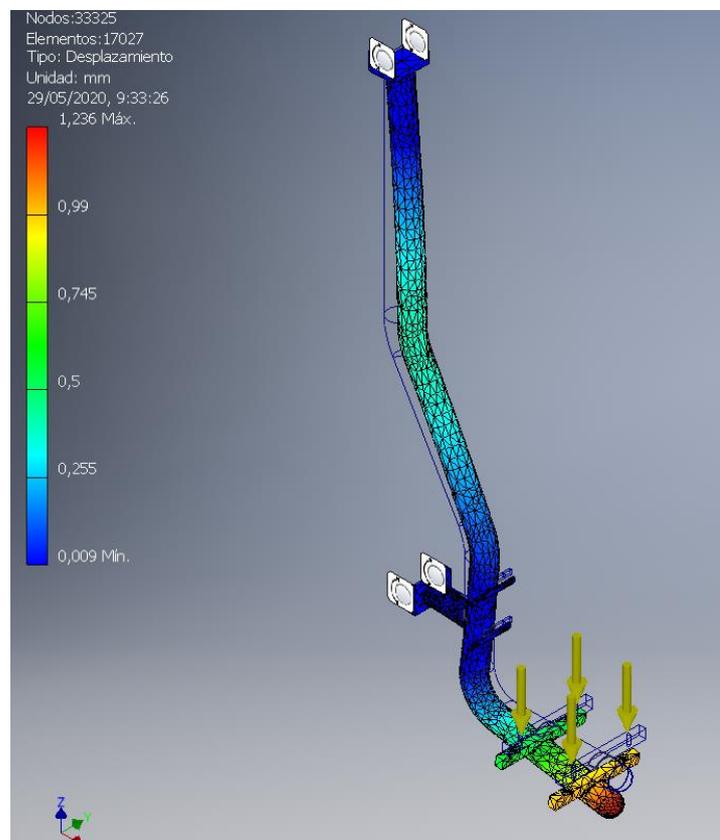


Ilustración 77. Resultados de la simulación. Desplazamientos (elaboración propia)

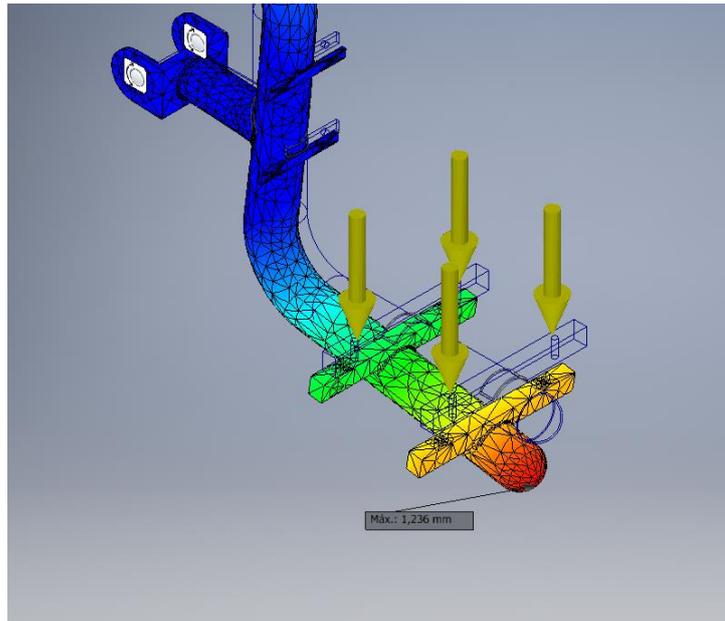


Ilustración 78. Localización del punto de máximo desplazamiento. (Elaboración propia)

Tal y como se puede observar en la ilustración 15, se ha obtenido un desplazamiento máximo de 1,236 mm, valor que se considera muy aceptable teniendo en cuenta los valores de cargas que se han colocado y teniendo en cuenta la geometría del perfil.

A continuación se muestran los resultados de la tensión de Von Mises:

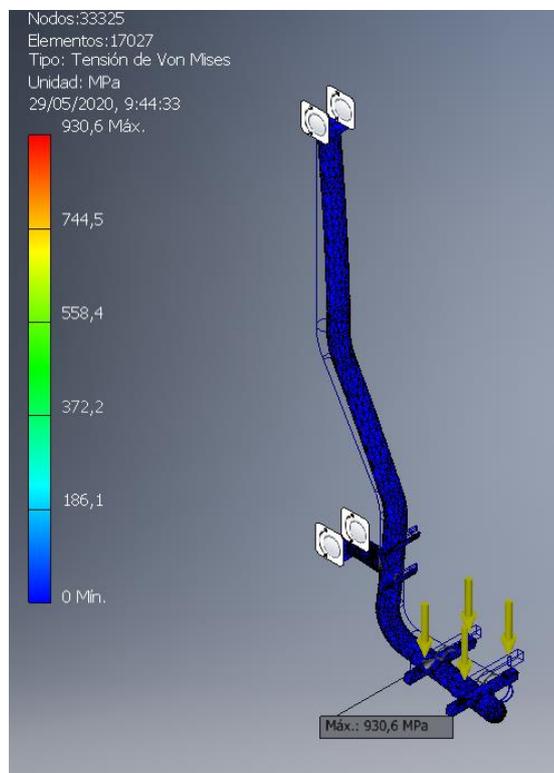


Ilustración 79. Resultado de la simulación. Tensión de Von Mises (elaboración propia)

## ESTUDIO DE UN APARATO BIOSALUDABLE: EL ASCENSOR

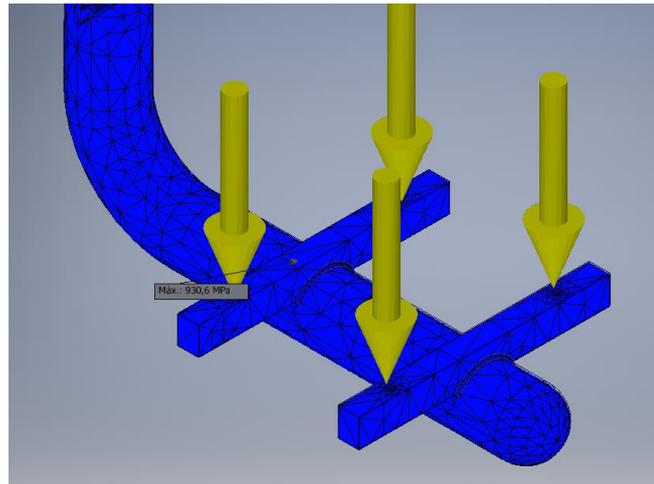


Ilustración 80. Localización de punto de máxima tensión de Von Mises (elaboración propia)

Puesto que no se aprecia bien el resultado de las tensiones de Von Mises, se procede a ajustar la barra de colores para poder tener una mejor visión de la simulación:

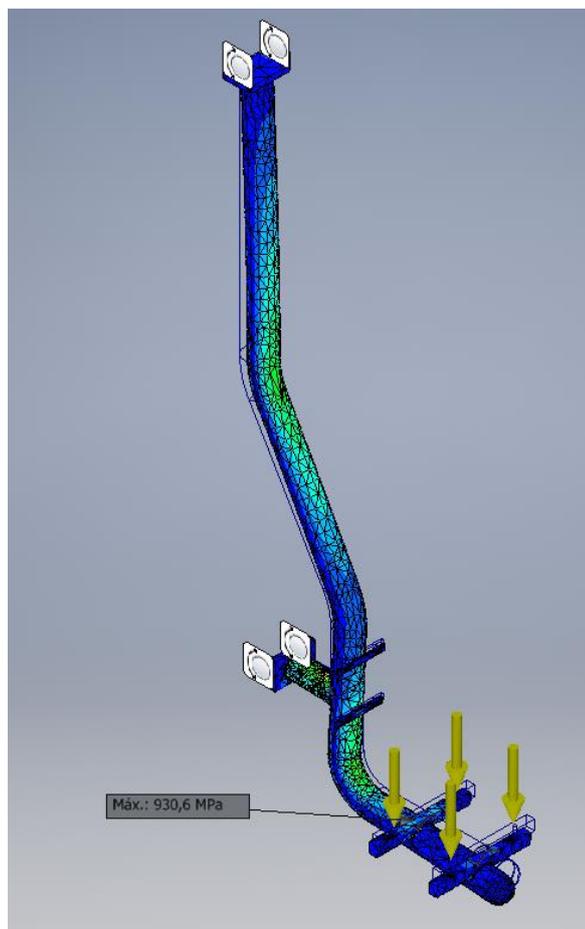


Ilustración 81. Visión detalle de la simulación. Tensión de Von Mises (elaboración propia)

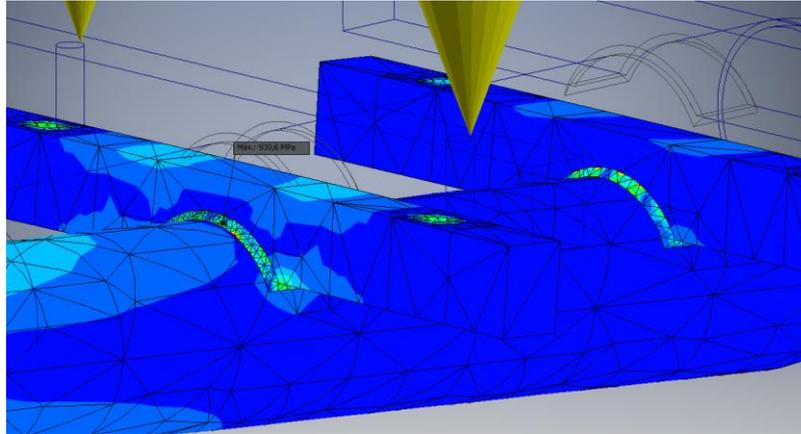


Ilustración 82. Localización del punto de tensión máxima. Tensión de Von Mises (elaboración propia)

Tal y como se puede ver en la imagen superior, se tiene que el valor de la tensión máxima de Von Mises tiene una magnitud de 930,6 Mpa, valor que se considera bastante alto si se tiene en cuenta el límite elástico del material, en este caso acero galvanizado, por lo que esto nos indica que en cuanto a términos de resistencia, hay que reforzar esta parte del perfil. Siendo más concretos, el punto donde se concentran las tensiones máximas es el punto donde se ha establecido el cordón de soldadura, por lo que sería necesario reforzar este cordón, dotándole de mayor radio, o por el contrario, modificar la geometría de unión al asiento, haciendo que tenga una mayor superficie de contacto.

Por lo tanto, lo que se podría hacer para mejorar los resultados de la simulación sería intentar modificar la geometría de unión del asiento al soporte para hacer que las tensiones sean más livianas en esa zona, puesto que se considera que esa zona es la más conflictiva de esta geometría.

Se ha intentado solucionar este problema añadiendo a estas barras unos soportes, tal y como se ve en la imagen inferior:

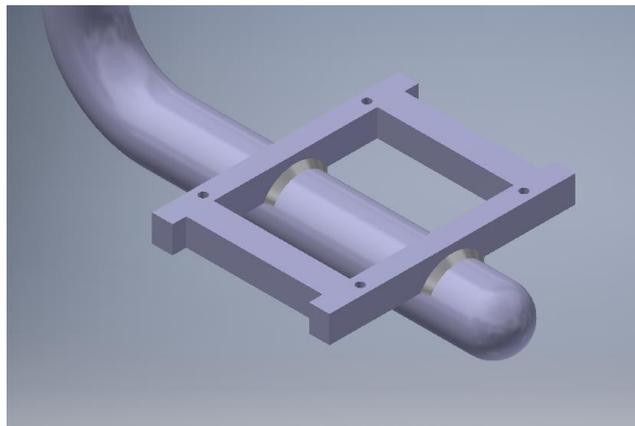


Ilustración 83. Refuerzo en las uniones al asiento (elaboración propia)

Si se realiza de nuevo la simulación, se obtienen los siguientes resultados:

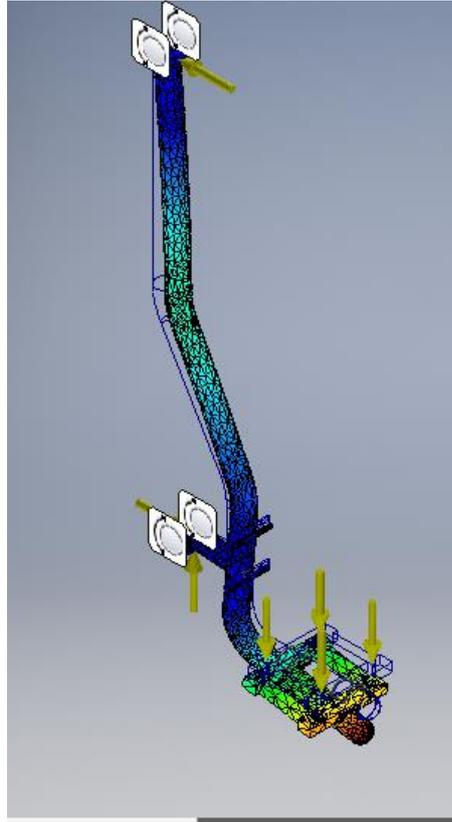


Ilustración 84. Resultado de la simulación con el refuerzo. Desplazamientos (elaboración propia)

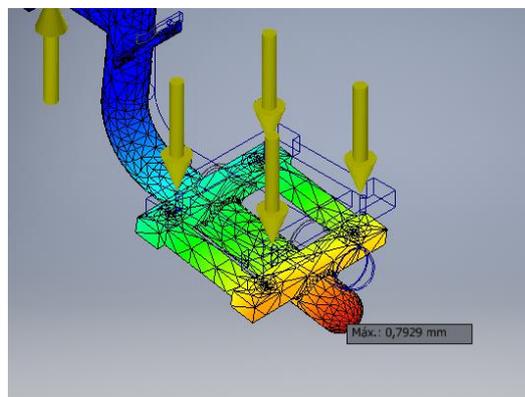


Ilustración 85. Detalle máximo desplazamiento (elaboración propia)

En este caso, ya se puede apreciar que se ha producido una reducción en el desplazamiento, llegando a ser un desplazamiento máximo de 0,7929 mm. Si se muestran las tensiones de Von Mises, se tiene lo siguiente:

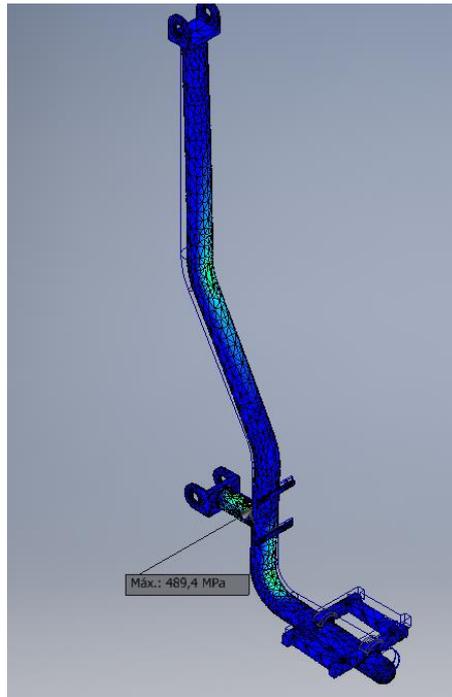


Ilustración 86. Resultados simulación con refuerzo. Tensión de Von Mises (elaboración propia)

En este caso, sí que se puede apreciar que se ha reducido la tensión de Von Mises, si lo comparamos con el caso anterior, vemos que se ha reducido su valor máximo casi a la mitad, obteniendo en este caso una tensión de Von Misses máxima de 489,4 Mpa, valor que aún sigue siendo alto pero que en comparación con la simulación realizada anteriormente, se ha reducido significativamente. Se puede observar además que la tensión máxima ya no se encuentra en el cordón de soldadura de las uniones al asiento. Esto es debido a que se reforzó este cordón, aumentando su diámetro. Sin embargo, ahora la tensión máxima se encuentra en otro cordón de soldadura, por lo que habría que valorar reforzar esta parte de la estructura.

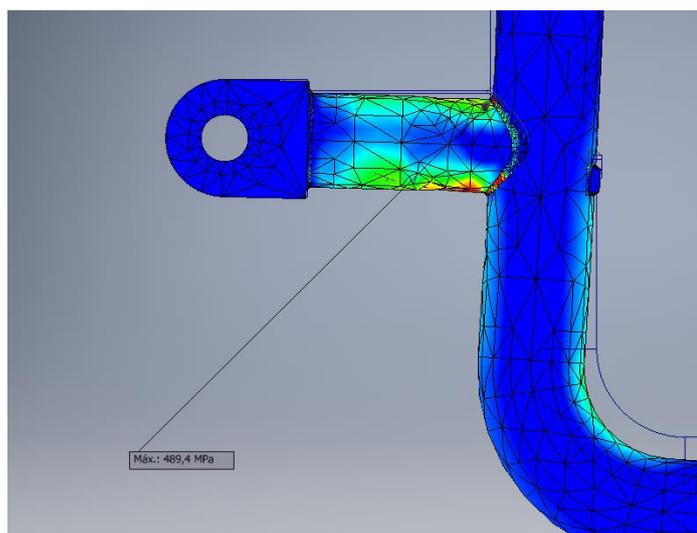


Ilustración 87. Localización del punto de tensión de Von Mises máximo (elaboración propia)

Se ha vuelto a modificar la geometría, en este caso el tubo que se puede ver en la imagen superior. Inicialmente, este tubo tenía un espesor de 2 mm. Se ha probado a hacer macizo este tubo y reforzar el cordón de soldadura y ver qué resultados se obtenían en la simulación y se obtienen las siguientes conclusiones:

- Se ha reducido el máximo desplazamiento a 0,8294 mm, cuando en el caso anterior nos encontrábamos con un máximo desplazamiento de 1,232 mm, por lo que se considera una mejora significativa.
- La tensión máxima de Von Mises ahora tiene un valor de 40,46 Mpa en el mismo sitio que en el caso inicial, es decir, en el cordón de soldadura. Puesto que este valor es menor que el del límite elástico del material, que son 250 Mpa, damos por finalizado y validado el estudio por elementos finitos de este perfil.

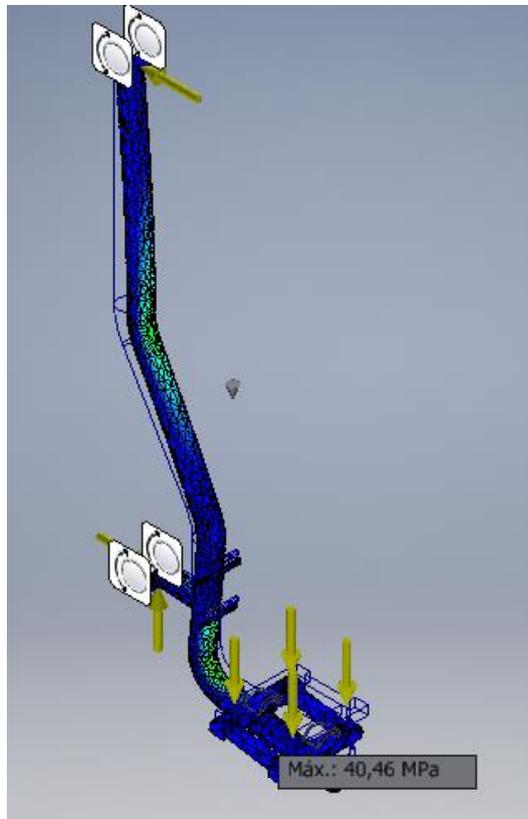


Ilustración 88. Resultado Tensión de Von Mises (elaboración propia)

## 6.2. Barras superiores paralelas

A continuación se procede a realizar el estudio de las barras superiores bajo el mismo criterio que en el caso anterior. Cabe decir que la configuración de la malla y de convergencia va a ser la misma en todos los estudios que se hagan, por lo que se omitirán las imágenes donde se muestra esta configuración, puesto que se ha establecido ya.

A continuación se muestra el diagrama de sólido libre, tal y como se hizo en el apartado anterior.

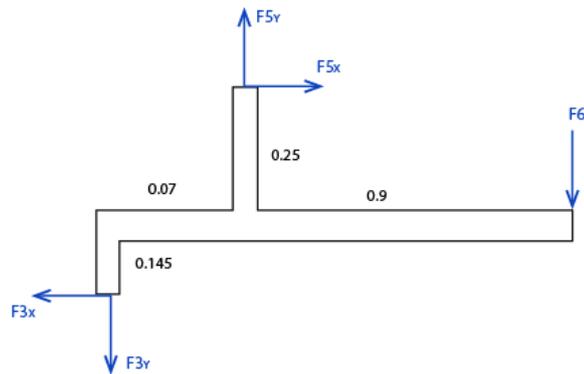


Ilustración 89. Diagrama de sólido libre barras superiores (elaboración propia)

En el caso de la parte inferior izquierda, se tiene que las fuerzas  $F_{3x}$  y  $F_{3y}$  son las mismas que las que se dan en el apartado del perfil del asiento, pero con sentido diferente, puesto que estas dos partes van unidas mediante una articulación. Además, la fuerza  $F_6$  tiene una magnitud de 337.5 N puesto que en el caso de la realización del diagrama de sólido libre se va a tomar la fuerza total para simplificar geometrías. Si se realizan las ecuaciones y se resuelve el sistema de ecuaciones, se tiene que el resto de las fuerzas son las siguientes:

$$F_{5x} = 690.5 \text{ N}$$

$$F_{5y} = 1966.74 \text{ N}$$

A continuación, se procede a realizar la simulación con los parámetros y los valores que se han mencionado anteriormente. Si se procede al mallado del modelo y se aplican las fuerzas y las restricciones anteriormente mencionadas, se obtiene lo siguiente, tal y como se puede observar en la siguiente imagen:

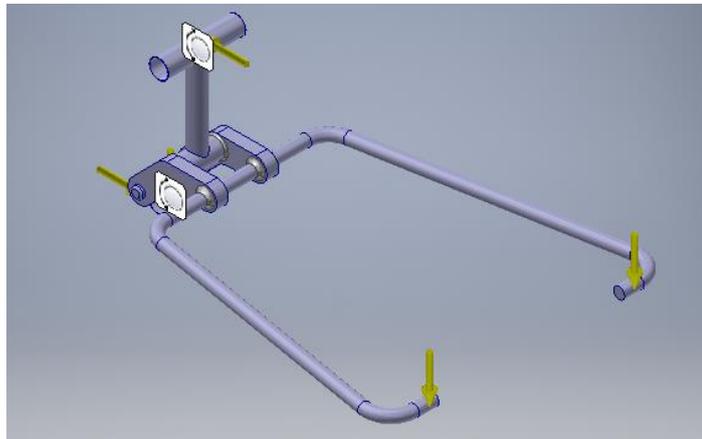


Ilustración 90. Fuerzas y restricciones en las barras superiores paralelas (elaboración propia)

Se procede a realizar el mallado y se tiene que el modelo tiene 130223 nodos y 76121 elementos. Este número tan alto se tiene debido a que la geometría es más compleja. Si se procede a realizar la simulación, obtenemos los siguientes resultados:

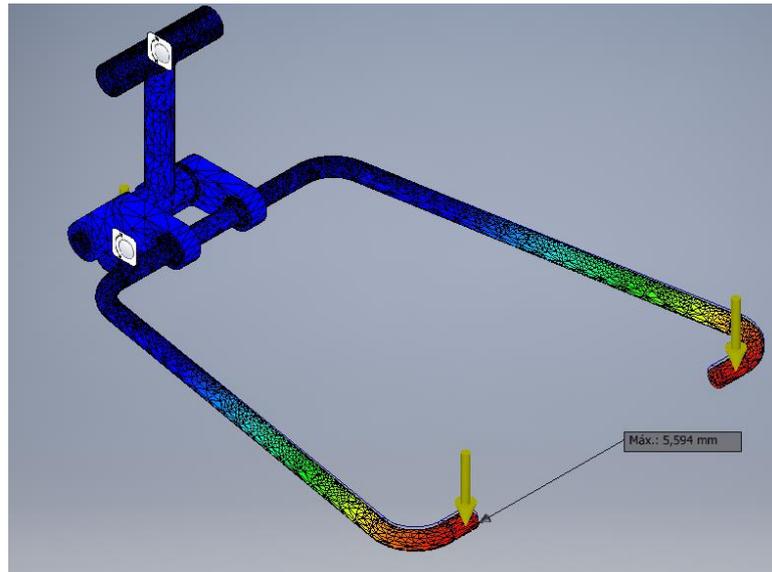


Ilustración 91. Resultado de la simulación. Desplazamientos (elaboración propia)

Si se analizan los resultados, se obtiene que el desplazamiento máximo es de 5,594 mm, y se encuentra en los extremos de las barras de agarre, es decir, donde se encuentran los manillares. Una justificación de este valor puede ser que, debido a la longitud y el diámetro de las barras, se produzca esta variación de desplazamiento. No obstante, considerando la magnitud de las fuerzas aplicadas, tampoco se considera un valor demasiado grande como para realizar modificaciones.

Si se va al apartado de tensión de Von Mises y se ven qué resultados se obtienen, se tienen los siguientes valores:

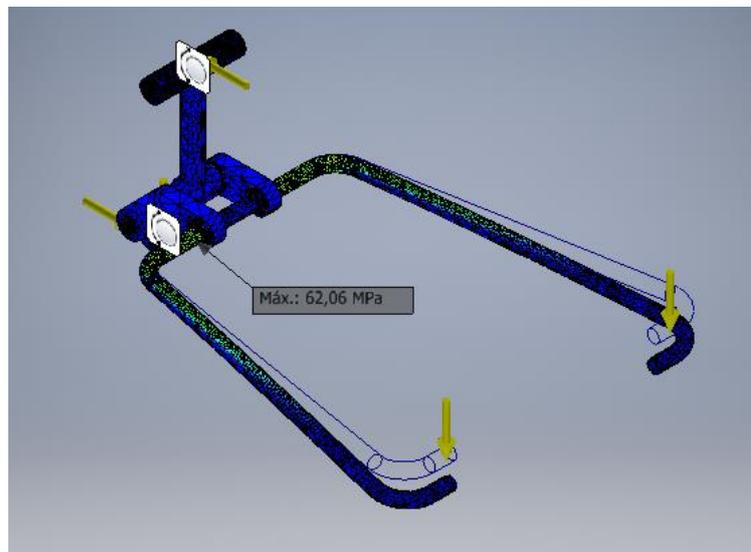


Ilustración 92. Resultado de la simulación. Tensión de Von Mises (elaboración propia)

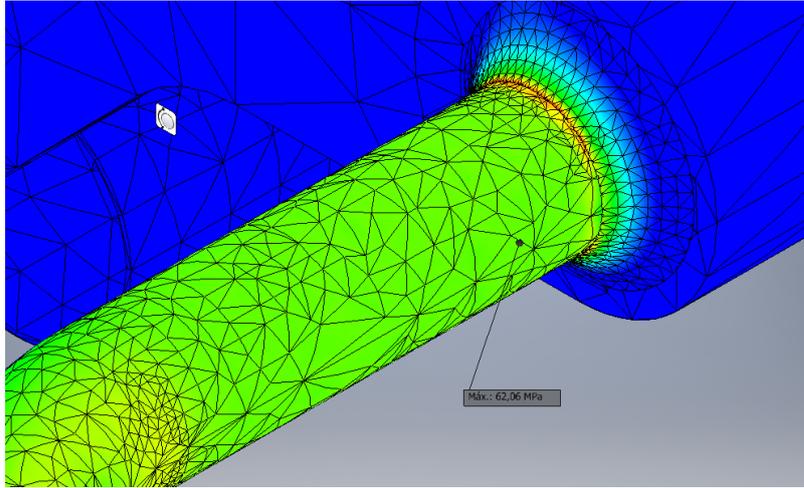


Ilustración 93. Tensión de Von Mises. Localización del punto de tensión máxima. (Elaboración propia)

Tal y como se puede ver en las dos imágenes anteriores, se tiene que el resultado de la simulación nos da un valor de tensión máxima de Von Mises de 62,06 MPa, valor que se considera muy aceptable debido a que no supera el límite elástico del material y por tanto no se produce rotura en el material. La sección preocupante donde se concentran estas tensiones es, de nuevo el punto donde se encuentra el cordón de soldadura.

Como conclusión a esta parte del estudio, se concluye con que no se va a realizar ninguna modificación en la geometría dado que con los valores que se obtienen no va a ser necesario modificar ninguna medida o forma en la geometría.

### 6.3. Análisis barra intermedia

La siguiente parte de la máquina a analizar es la barra intermedia que une el perfil del asiento al soporte principal. Esta barra soporta las fuerzas de reacción del perfil del asiento, es decir las fuerzas  $F_{4x}$  y  $F_{4y}$  pero con sentido contrario. Si se realizan las ecuaciones de equilibrio, las fuerzas que se obtienen en el lado contrario, al ser una barra sencilla, tendrán el mismo valor pero sentido contrario, teniendo los siguientes valores:

$$F_{6x} = 690.5 \text{ N}$$

$$F_{6y} = 85.74 \text{ N}$$

Una vez establecidas estas fuerzas, se introducirán en el programa junto con las restricciones:

## ESTUDIO DE UN APARATO BIOSALUDABLE: EL ASCENSOR

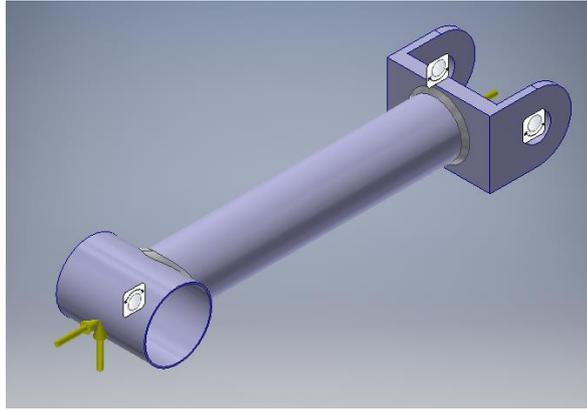


Ilustración 94. Barra intermedia con restricciones y cargas (Elaboración propia)

Se procede al mallado de la pieza con la misma configuración que en los casos anteriores:

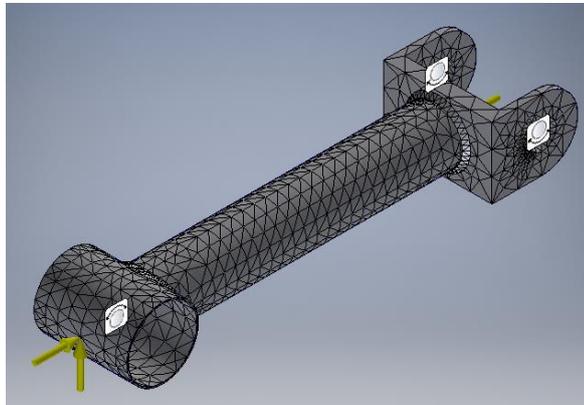


Ilustración 95. Mallado de la barra intermedia (Elaboración propia)

A continuación, se procede a realizar la simulación:

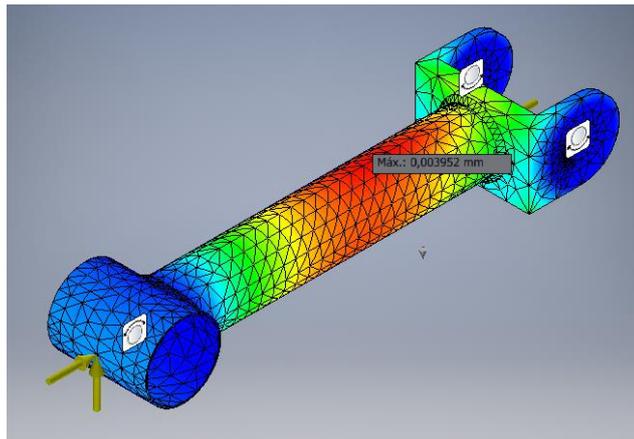


Ilustración 96. Resultados de la simulación. Desplazamientos (Elaboración propia)

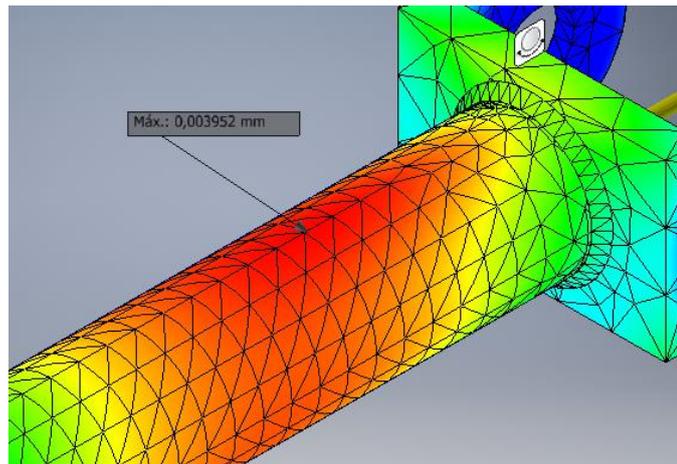


Ilustración 97. Resultados de la simulación. Detalle del desplazamiento (Elaboración propia)

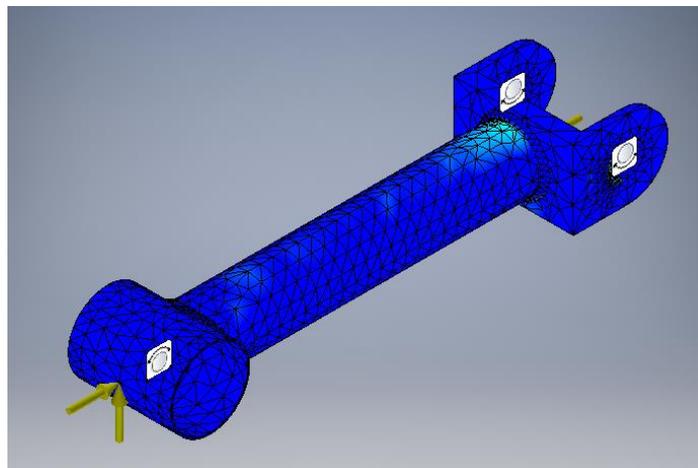


Ilustración 98. Resultado de la simulación. Tensión de Von Mises (Elaboración propia)

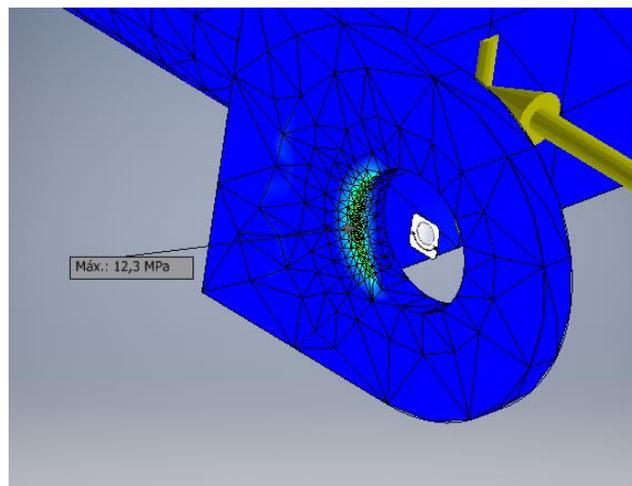


Ilustración 99. Resultado de la simulación. Detalle tensión de Von Mises (Elaboración propia)

Observando los resultados obtenidos mediante el análisis de tensiones, se puede observar que obtenemos unos valores muy correctos, lo cual indica que no es necesario realizar ninguna modificación en cuanto a la geometría.

#### 6.4. Análisis del soporte principal

El último paso del análisis por elementos finitos es analizar y simular el soporte principal de la máquina. Tal y como se ha mencionado anteriormente, el soporte principal consta de dos partes: una estructura formada por perfiles cuadrados de sección hueca de acero y una carcasa constituida por chapa metálica que realiza una función estética.

Puesto que la estructura es la parte del soporte principal que soporta la carga estructural de esta parte de la máquina, se realizará el análisis de esta parte.

Se comenzó prefijando la estructura con un perfil cuadrado de sección hueca de 60x60x5 mm, tal y como puede verse en la imagen inferior:

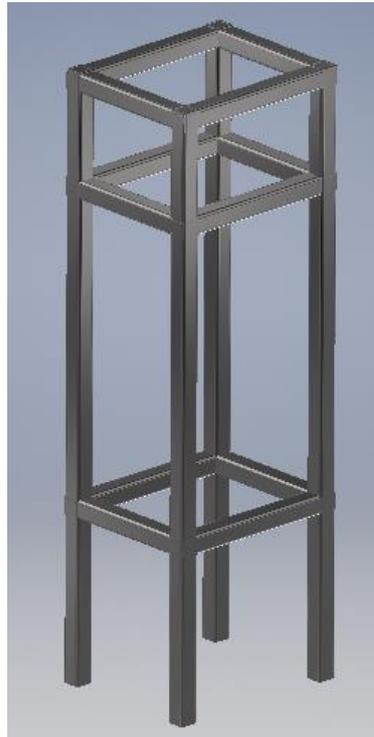


Ilustración 100. Soporte principal inicial de 60x60x5 mm (Elaboración propia)

En el programa, se pueden configurar los diferentes perfiles normalizados, su orientación, material, etc. A continuación, se muestra una imagen donde se pueden observar este cuadro de propiedades:

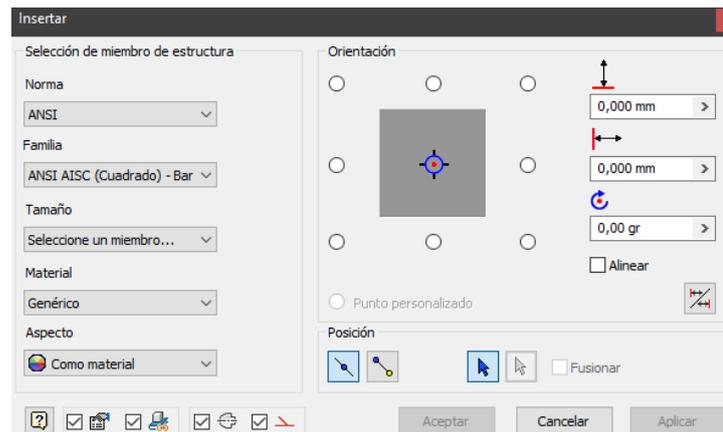


Ilustración 101. Cuadro de propiedades de inserción de estructura (Elaboración propia)

En el caso de este proyecto, se escogió una estructura con norma ISO, siguiendo la familia ISO 12633-2 (Cuadrado), de sección cuadrada hueca, laminado en caliente. El material será acero S235JR, y el tamaño se irá variando en función de los resultados obtenidos en el análisis de estructura.

El siguiente paso una vez diseñada la estructura, es colocar las fuerzas de reacción en la parte superior e inferior. Puesto que se trata de una estructura que va fijada al suelo, se generarán unos momentos, puesto que en los diagramas de sólido libre se tratará a este soporte principal como un empotramiento. Realizando los diagramas de sólido libre se tiene que en la parte inferior, se tienen fuerzas en dirección horizontal y vertical, correspondientes a las fuerzas de reacción de la barra intermedia, y se generará un momento en la zona de empotramiento. Cabe decir que la distancia entre el punto de aplicación de las fuerzas y el empotramiento es de 0,120 m, por lo que se tienen las siguientes fuerzas y el siguiente momento:

$$F_{7x} = 690.5N$$

$$F_{7y} = 85.74N$$

$$M_7 = 10.2888 N * m$$

En cuanto a la parte superior, se da el mismo caso, en el cual en el empotramiento se tiene las fuerzas de reacción con las fuerzas que se encuentran en la parte superior de la parte de las barras superiores, correspondiente a las fuerzas  $F_{5x}$  y  $F_{5y}$ . Además, se generará un momento en el empotramiento. Estas fuerzas mencionadas anteriormente se encuentran a una distancia de 0,395 m de la estructura. Por lo tanto, en la estructura principal, se tienen las siguientes fuerzas y el siguiente momento:

$$F_{8x} = 690,5N$$

$$F_{8y} = 1966,74 N$$

$$M_8 = 776,86 N * m$$

## ESTUDIO DE UN APARATO BIOSALUDABLE: EL ASCENSOR

Cabe decir que las fuerzas se han aplicado a ambos lados de la estructura, puesto que se tiene pensado que esta máquina sea doble, y así se considere en un caso límite, para asegurar la máxima resistencia de la estructura.

Asimismo, teniendo todas las fuerzas y momentos definidos, es momento de proceder a colocar las cargas y los momentos en el software Inventor, además de las restricciones fijas situadas en la parte inferior, tal y como se puede ver en la imagen siguiente:

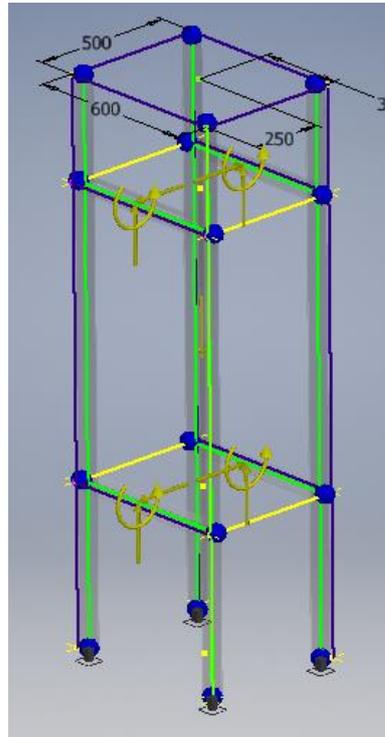


Ilustración 102. Estructura principal con fuerzas y momentos (Elaboración propia)

Se procede a realizar el análisis de estructura, y se obtienen los siguientes resultados:

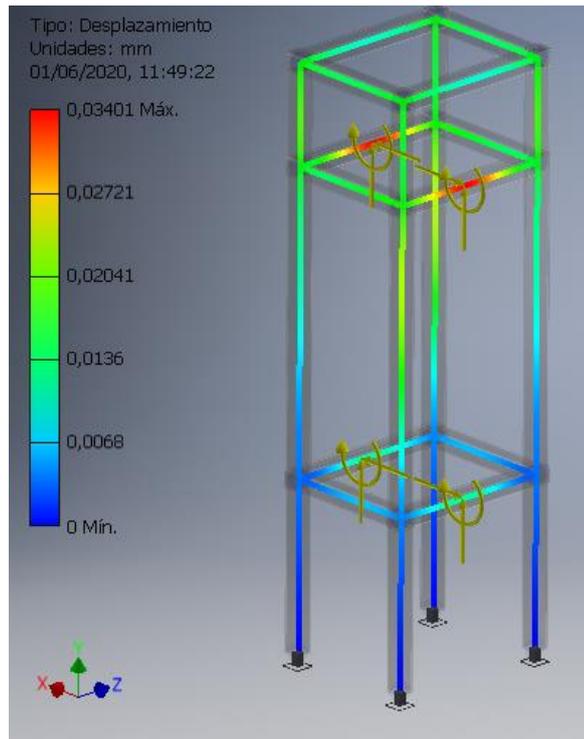


Ilustración 103. Resultados de la simulación (elaboración propia)

Como puede observarse en la imagen superior, se tiene que el desplazamiento máximo se encuentra en la parte superior de la estructura, teniendo un valor de 0,03401 mm, valor que se considera muy aceptable teniendo en cuenta las cargas aplicadas. Por lo tanto, y viendo el resultado obtenido, se procede a reducir el tamaño de los perfiles de sección hueca, cambiándolo a un perfil de 50x50x5 mm. La siguiente acción consiste en eliminar alguna de las barras de la estructura, en este caso las barras horizontales que se encuentran en el lado en el cual no se aplican fuerzas. La geometría quedaría de la siguiente forma:

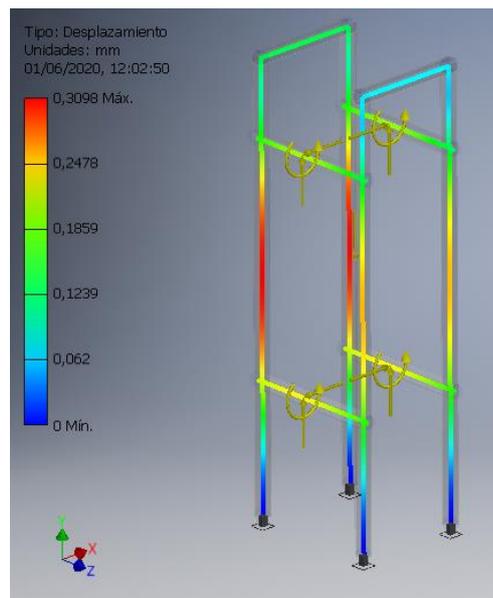


Ilustración 104. Simulación con la modificación de las geometrías (elaboración propia)

## ESTUDIO DE UN APARATO BIOSALUDABLE: EL ASCENSOR

El resultado de la simulación da un valor de 0,3098 mm, valor que aún con las modificaciones se considera aceptable. Puesto que aún podría seguir modificándose la estructura, se considera que esta geometría es aceptable, y se da por finalizado el diseño de la máquina biosaludable.

## 7. DISEÑO Y SOLUCIÓN FINAL

### 7.1. Solución final

Una vez realizado el estudio por elementos finitos con el software de Autodesk Inventor, se puede observar que la geometría ha sufrido una serie de modificaciones, sobretodo en la zona del perfil del asiento, por lo que a continuación se mostrarán una serie de imágenes con el diseño final. Aunque en el apartado del modelado en Catia se han mostrado algunas imágenes del modelado inicial, se ha decidido añadir igualmente imágenes de cómo es la maquina en su diseño definitivo, para poder apreciar así algunos detalles que en apartados anteriores o bien no estaban definidos, o se han modificado con el fin de optimizar la máquina.

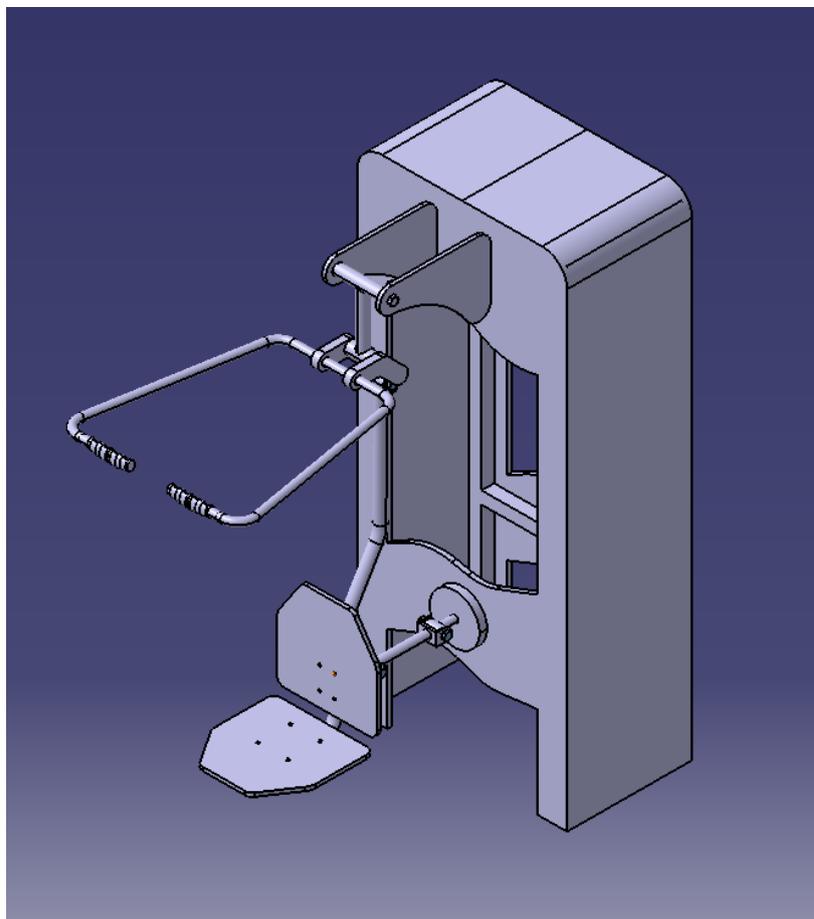


Ilustración 105. Máquina biosaludable, diseño definitivo (Elaboración propia)

Como puede observarse en la imagen superior, se pueden ver todos los elementos que componen la máquina biosaludable, incluidos los elementos de unión que se explicarán y calcularán en apartados siguientes de este proyecto. Una de las principales modificaciones que ha sufrido esta máquina que se pueda apreciar a simple vista es el soporte de unión al asiento, como se puede ver en la siguiente imagen:

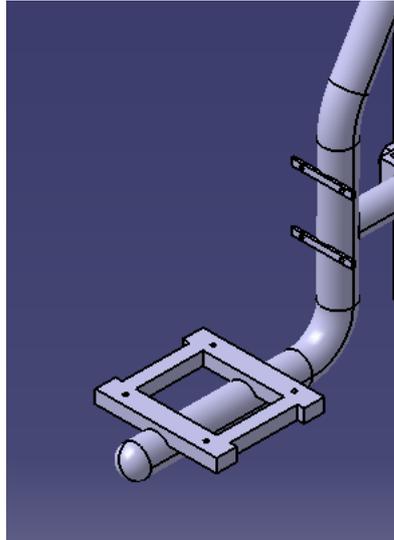


Ilustración 106. Diseño final de los soportes para el asiento y el respaldo (Elaboración propia)

El motivo de la modificación de esta parte de la máquina viene del estudio realizado con Inventor, ya que con el soporte inicial, la máquina no resistiría los pesos a los que se le sometió, por lo tanto esta corrección, al igual que muchas que se han hecho en la máquina, tienen un motivo estructural y no tanto estético.

## 7.2. Materiales a emplear

Para comenzar con los materiales, se empezará con el material que se utilizará para los postes y las barras de la máquina biosaludable, que en este caso serán de acero galvanizado.

El acero galvanizado está procesado con un tratamiento en el cual se aplican varias capas de zinc sobre la capa de acero. Este proceso hace que sea un material mucho más resistente a las ralladuras, tiene un acabado más duradero y protege de la oxidación que sufre el hierro al entrar en contacto con el oxígeno. El zinc que se utiliza durante la galvanización se adhiere metalúrgicamente al acero formando capas de aleación Zn-Fe en distintas proporciones que van constituyendo una barrera impermeable entre el acero y los elementos corrosivos de la atmósfera. Esto, como se ha mencionado antes, evita que la humedad, los cloruros y sulfuros ataquen al acero. (22)

El proceso de galvanizado puede hacer en caliente, por inmersión o al fuego. Este proceso consiste en introducir piezas de acero en zinc fundido, a una temperatura aproximada de 450°C hasta lograr un recubrimiento de 7 a 42 micras (según la norma UNE EN ISO 10346) o de 45 a 200 micras (según la norma UNE EN ISO 1461). (23)

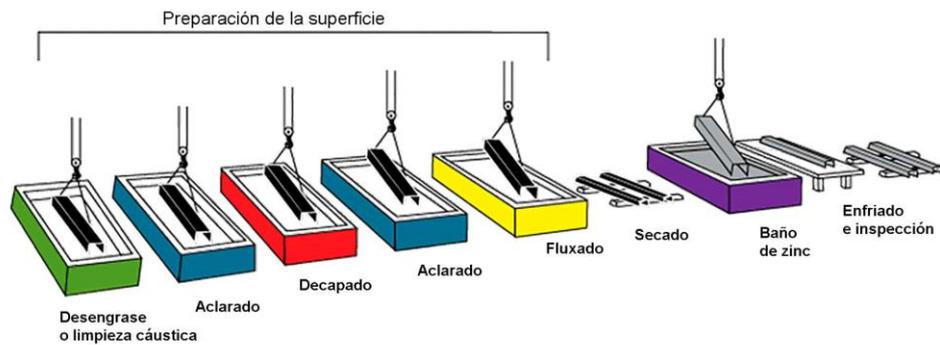


Ilustración 107. Proceso de galvanizado. (<https://ferrosplanes.com/proceso-galvanizado-ventajas/>)

Una de las ventajas de utilizar acero galvanizado es que puede durar en exteriores hasta 100 años o más, aunque esto siempre depende del espesor de la capa de zinc que lo cubre. Sin duda, es uno de los recubrimientos que más durabilidad ofrece en entornos exteriores, de ahí que sea uno de los materiales más empleados para este tipo de emplazamientos. Otra de sus propiedades es que resiste muy bien al calor, además de ser más barato frente a otros materiales o aleaciones, no en el gasto inicial del material, que en ese caso tiene un coste similar con los sistemas de pintura, sino en la vida útil del material. Esto es porque el acero galvanizado no precisa de ningún tipo de mantenimiento, por lo que estas intervenciones no serían necesarias, y por tanto, no habría gasto económico. (23)

Cabe decir que no cualquier acero vale para ser galvanizado, puesto que una mala elección podría producir problemas de reactividad (elevada concentración de silicio y fósforo en su composición química, que haría que el Zn se levantara en capas o no se produzca la aleación Acero-Zn).

En este caso, el tipo de acero que se va a utilizar es el acero S235 y S275, debido a sus propiedades mecánicas. Este acero se someterá a una galvanización en caliente, y después se pintará una mano de pintura en polvo al horno, para mejorar su apariencia y aportar color.

Por lo tanto, una vez definido el material que se va a utilizar, se van a definir los tipos de estructuras y barras que se van a utilizar en la fabricación de la máquina biosaludable. Para las barras se van a utilizar barras de acero macizas de diámetros 30, 35, 45 y 50 mm, y también de diámetros 25, 30 y 45 mm pero con un espesor de 2 mm.

Para los tubos con espesor de 2 mm, se utilizarán tubos de acero S235JR, los siguientes fabricados por la empresa Incafe2000:



Ilustración 108. Tubos laminados de espesor 2 mm (<https://www.incafe2000.com/Esp/tubo-redondo-galvanizado>)

Para los tubos macizos, se cogerán de la empresa Incafe2000, y serán de acero S235 JR, siguiendo la norma UNE EN 10060:2004. Otro perfil comercial que se va a utilizar es el de la estructura para el soporte principal, que si bien se ha mencionado antes, se recuerda que se trata de un perfil cuadrado hueco de dimensiones 50x50x5 mm. Se cogerá también de esta misma empresa, Incafe2000. Las características de este tubo son que es un tubo laminado cuadrado de acero soldado con calidad S235JR.

Para las partes que están hechas de chapa metálica, se utilizarán espesores de 5, 10, 15, 20 y 30 mm para las diferentes partes que componen la máquina biosaludable. Se cogerán chapas de acero de calidad S235JR de la empresa incafe2000, serán chapas de acero laminadas en caliente.

En cuanto al material que se va a utilizar para el respaldo y el asiento, se utilizará HDPE (polietileno de alta densidad). El polietileno de alta densidad es un polímero termoplástico derivado del petróleo. A diferencia del LDPE (Polietileno de baja densidad), las cadenas moleculares del HDPE tienen más resistencia a la atracción entre sí y mayor fuerza intermolecular respecto al otro tipo de polietileno menos denso, lo cual quiere decir que tiene una mayor fuerza específica. Estas propiedades hacen que se presente más duro y opaco que una capa de LDPE. Algunas de las propiedades destacables de este material es que presenta una mejor resistencia a temperaturas elevadas, siendo su resistencia de hasta 110-120 C°. Cabe destacar además que es el polímero sintético con mayor volumen de producción. Es inodoro, insípido y no tóxico. Sus usos varían desde la conducción de líquidos en alcantarillado o en agricultura, hasta la construcción, la industria y químicos, o la pesca. (24)



Ilustración 109. Polietileno de alta densidad (<https://www.envaselia.com/blog/que-es-el-poli-etileno-de-alta-densidad-hdpe-o-pead-id18.htm>)

### 7.3. Elementos normalizados

Para atornillar el respaldo y el asiento al perfil, se utilizarán tornillos Allen, según la norma DIN 912, con un tornillo de diámetro métrica M6. Hay que tener en cuenta que el tornillo va a ir incrustado entero, por lo que no habrá saliente de tornillo para mayor comodidad del usuario. Esto es importante puesto que habrá que tener en cuenta que habrá mecanizar el asiento y el respaldo de tal forma que una vez que se introduzca el tornillo, este quede completamente introducido entre las dos partes.

El tornillo presenta la siguiente forma:



Ilustración 110. Tornillo Allen (<https://es.rs-online.com/web/p/tornillos-allen/6604639/>)

Para elegir la longitud del tornillo, se ha de calcular la longitud total que forman las dos partes, sumando ambos espesores, teniendo en cuenta los soportes de unión al perfil del asiento.

El soporte al cual se atornilla el respaldo tiene un espesor de 4 mm y el respaldo tiene un espesor de 15 mm, por lo que en total se tiene una longitud de 19 mm. Observando las longitudes de la cabeza y del vástago del tornillo, se ha cogido un tornillo de diámetro nominal 6mm, paso 1 mm, longitud de vástago 16 mm y altura de la cabeza 6 mm, puesto que como se ha mencionado antes, la cabeza debe

quedar completamente introducida en el respaldo. La fijación del respaldo al soporte queda de la siguiente forma:

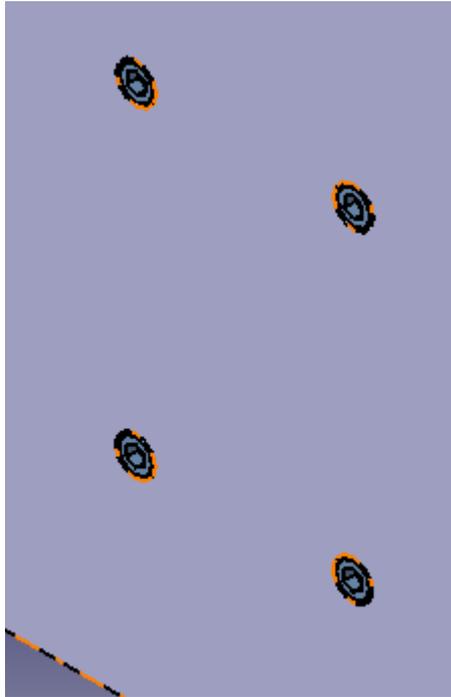


Ilustración 111. Fijación del respaldo al perfil del asiento (Elaboración propia)

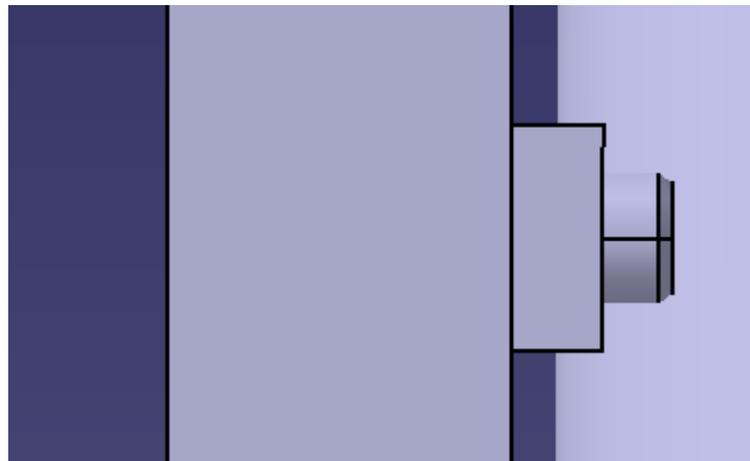


Ilustración 112. Detalle de la fijación del tornillo (Elaboración propia)

De la misma manera, y siguiendo el mismo procedimiento, se realizará la fijación del asiento al soporte del perfil. En este caso se tiene el mismo espesor para el asiento, 15 mm, y un espesor de 20 mm que corresponde al soporte que va soldado al perfil. Si se suman estos dos espesores, se tendría que habría que utilizar un tornillo con una longitud de vástago de 35 mm, pero tal y como se ha mencionado antes, la cabeza del tornillo debe quedar completamente introducida en el respaldo, por lo que se utilizará un tornillo de métrica M6 con una longitud de vástago de 30 mm. En la siguiente imagen puede observarse la fijación del asiento al perfil:

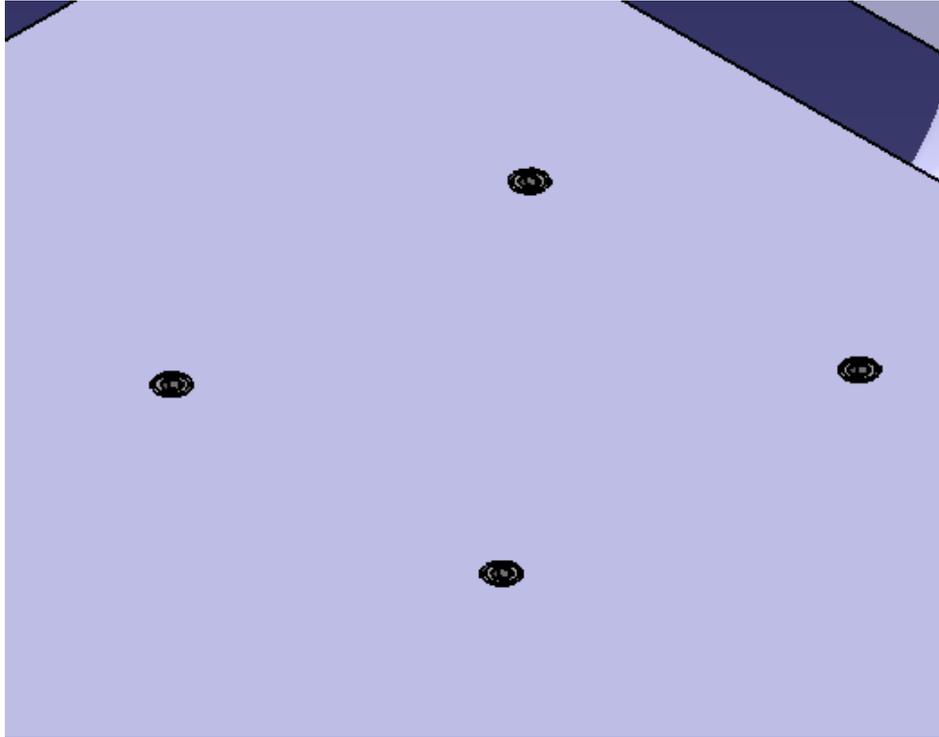


Ilustración 113. Fijación del asiento al perfil (Elaboración propia)

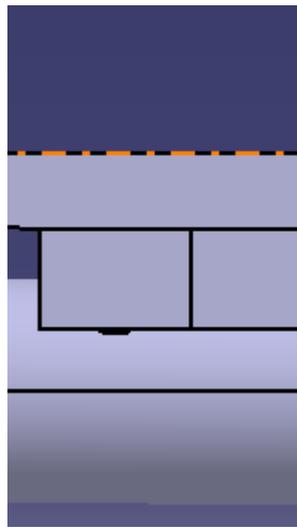


Ilustración 114. Detalle de la fijación del asiento (Elaboración propia)

Asimismo, se utilizarán tapones para los tornillos tanto para parte superior como la parte inferior, tal y como se puede ver en la imagen inferior:



Ilustración 115. Tapones para tornillos (<https://www.spaciobiker.com/es/tornilleria-motos-custom/51458-tapon-embellecedor-negro-tornillo-allen-3-8.html>)

En cuanto a las articulaciones del mecanismo, conviene recordar el término anteriormente mencionado “par inferior”, puesto que de esto se tratan las articulaciones que constituyen esta máquina biosaludable.

El par inferior o cerrado es aquel que se define como la unión entre dos eslabones en los cuales uno no solo forma la envolvente del otro, sino que además lo encierra, siendo geoméricamente idénticas las formas de los elementos que componen el par, una de ellas sólida y la otra hueca.

Ya se ha explicado y mencionado el cálculo de los grados de libertad en apartados anteriores, por lo que se procede a explicar qué solución se ha utilizado para definir estas uniones. Se ha decidido que la opción más adecuada es crear dos partes que si se unen, conformen un eje de giro completo, siendo una de las partes hembra, y la otra macho. Así, se crea la siguiente solución del diseño de las uniones entre los eslabones que tengan que girar en el mecanismo. La solución puede verse en la siguiente imagen:

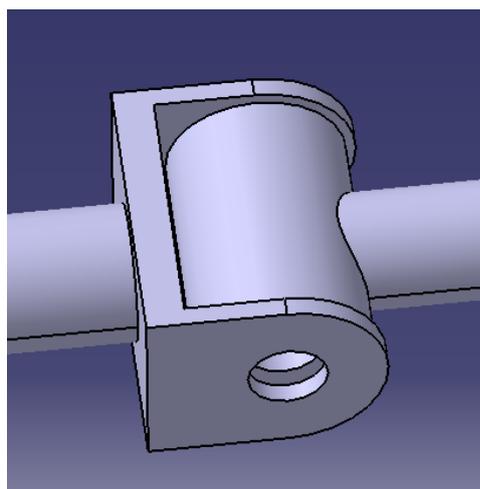


Ilustración 116. Diseño para la articulación (Elaboración propia)

De esta forma, así quedan diseñados los eslabones que forman parte de la articulación:

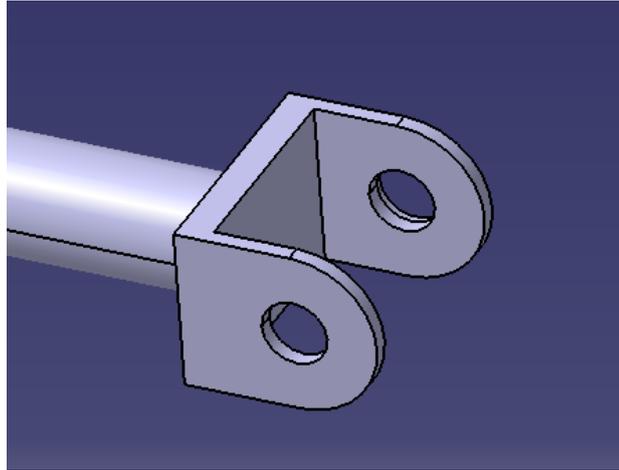


Ilustración 117. Diseño eslabones (elaboración propia)

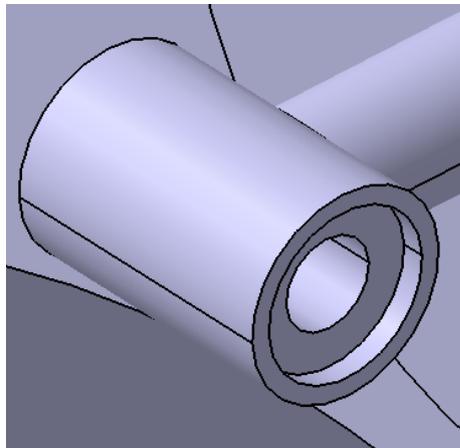


Ilustración 118. Diseño de los eslabones (elaboración propia)

Las dos imágenes anteriores ejemplifican las uniones partes de las uniones, siendo esta última, la ilustración 115 la parte de la unión macho. Además, puede observarse en esta misma imagen el acomodamiento para la inserción de los rodamientos, que más adelante se explicará.

A parte del uso de rodamientos, que proporcionarán un giro suave entre los elementos, la unión se realizará mediante el uso de pernos, tuercas y arandelas, de tal forma que el perno se introduce entre las dos piezas, y en el extremo por el que sobresale se coloca la arandela y la tuerca para finalizar la fijación.

Para la elección de las tuercas se seguirá la norma UNE EN ISO 4032:2013, correspondiente a tuercas normales hexagonales tipo 1. El diámetro del eje es de 20 mm, por lo que se escogerá una tuerca de métrica M20. El espesor de esta tuerca para este diámetro es de 18 mm, si se busca dentro de esta norma. Las tuercas que se van a utilizar son autoblocantes, por lo que una vez instalada la máquina no se podrán quitar a no ser que sea para reemplazarlas. Esto proporcionará más seguridad en caso de vandalismo.



Ilustración 119. Tuerca autoblocante (<https://www.bricomart.es/tuerca-autoblocante-din-985-m10-cincada-200-uds.html>)

Para la elección de las arandelas es necesario seguir la norma EN ISO 7089:2000 correspondiente a arandelas planas de serie normal. Escogiendo también un diámetro de eje de 20mm, el espesor de la arandela será de 3 mm.



Ilustración 120. Arandela plana (<https://www.manomano.es/p/arandela-plana-ancha-hcinc20x60-3888561>)

Una vez escogidas la tuerca y la arandela, hay que escoger el perno que se va a utilizar. En el caso de esta unión, se utilizará un perno puesto que sólo se necesita que exista rosca en el extremo que sobresale de la unión entre los eslabones, donde van colocadas la arandela y la tuerca. Para calcular la longitud que ha de tener el perno hay que calcular la longitud de la pieza que lo atraviesa, y a este valor sumarle el espesor de la tuerca y de la arandela. La pieza que atraviesa el perno tiene un espesor total de 75 mm, si se le suma a este valor el espesor de la tuerca, que es 18 mm y el de la arandela, que son 3 mm, se tiene que la longitud total es de 96 mm.

Para escoger la longitud normalizada, es necesario ir a la norma UNE-EN ISO 4014:2011 correspondiente a pernos cabeza hexagonal, y escoger la longitud que sea inmediatamente superior a la obtenida. En este caso, se tiene que la longitud normalizada ha de ser de 100 mm.



Ilustración 121. Perno (<https://www.tipos.co/tipos-de-pernos/>)

Por lo tanto, una vez definidos estos elementos normalizados, se muestra una imagen en la cual se puede ver esta unión, sin tener en cuenta el rodamiento, puesto que en apartados posteriores se explicará.

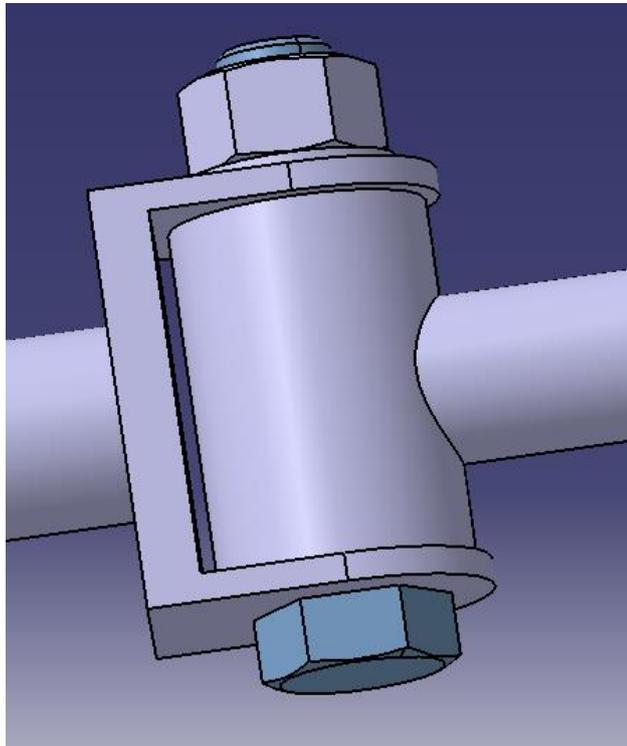


Ilustración 122. Unión de las dos piezas mediante pernos, tuercas y arandelas. (Elaboración propia)

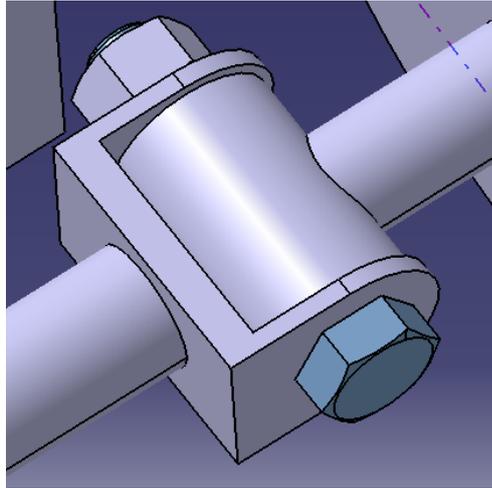


Ilustración 123. Unión de las dos piezas. Detalle (Elaboración propia)

Para dar un toque estético y también a modo de protección y seguridad, se añadirán tapones a los pernos y en el lado contrario, por el cual sobresale el perno con la tuerca, como los que pueden verse en la imagen inferior:



Ilustración 124. Tapón para pernos (<http://www.braplastic.com/tapones/a470-capuchon-para-pernos-y-tuercas-hexagonales>)

Para las tuercas será necesario utilizar otro tipo de tapón el cual permita cubrirla entera incluido el roscado del perno, ya que el vástago de éste sobresaldrá de la tuerca.



Ilustración 125. Tapón para tuercas (<https://www.iscsl.es/capuchones-tuercas-hexagonales/iscta.1>)

## 7.4. Cimentación de la bancada

La principal norma a seguir a la hora de diseñar la máquina es la norma UNE-EN 16630:2015. Esta norma obliga a cumplir una serie de requisitos en cuanto a la cimentación de la máquina. Estos requisitos son los que fijan las distancias que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar la bancada, y además dependiendo del tipo de suelo donde vaya a estar instalada, habrá que añadir o restar fijación sin añadir riesgo de caída o de vandalismo.

Esta norma fija unas longitudes mínimas que hay que añadir a la bancada, que irán a nivel de subsuelo, sin alterar el resto de dimensiones de la máquina. En este proyecto no se ha decidido el lugar de emplazamiento, por lo que eso será decisión del ayuntamiento o empresa que vaya a colocar la máquina.

Siguiendo las pautas de la norma, por ejemplo, los cimientos a los que se fijan los pedestales, los apoyos para los pies y los elementos de fijación deben estar situados a 400mm bajo la superficie del suelo o la capa de revestimiento, o la parte superior debe estar al menos a 200 mm bajo la superficie del suelo. Esto se explica mejor con la siguiente imagen: (21)

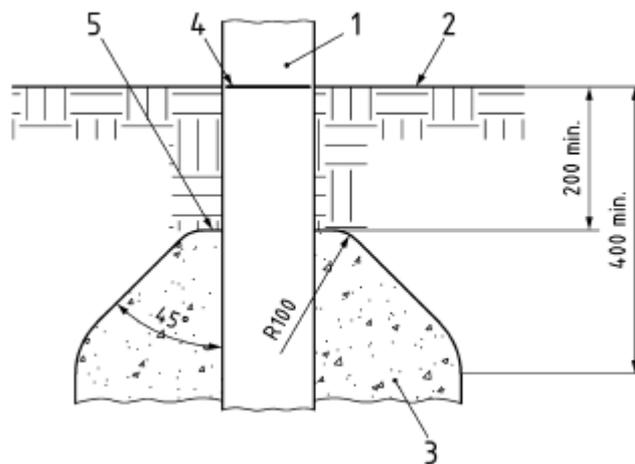


Ilustración 126. Cimentación (extraído de la norma UNE- EN 16630:2015)

1. Poste
2. Superficie del suelo
3. Cimiento
4. Marca del nivel de la base
5. Parte superior del cimiento

Puesto que, como se ha mencionado antes, no se tiene un lugar de emplazamiento, se cogerán las medidas que se encuentran en el dibujo, a fin de mostrar una de las posibilidades de cimentación que contempla la norma.

## 7.5. Elección del rodamiento

Como se ha mencionado en apartados anteriores, a parte de las uniones que se han definido anteriormente para el mecanismo, también es de vital importancia garantizar que estas uniones realicen un giro cómodo para el usuario, evitando que se realicen movimientos bruscos o que estas uniones puedan deteriorarse con el paso del tiempo o debido a factores climatológicos adversos.

La mejor solución para el diseño de estas articulaciones es mediante la instalación de rodamientos en las uniones, tal y como se ha explicado antes. A continuación, se procederá a explicar los cálculos realizados para elegir el rodamiento más adecuado para instalar en las uniones en los eslabones que se han explicado anteriormente.

Para saber el rodamiento que hay que escoger, es necesario saber cuál es el valor de la capacidad de carga estática  $C_0$  para buscar en el catálogo con el diámetro del eje que se va a utilizar. Para poder calcular este valor de carga, es necesario saber otros dos parámetros: el factor de seguridad estático  $S_0$ , y la carga estática equivalente  $P_0$ . La relación entre estos tres valores viene dada por la siguiente fórmula:

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

Para comenzar con los cálculos, primero hay que determinar el valor del factor de seguridad estático  $S_0$  en función de las características que tiene el mecanismo. Tal y como se ha explicado en el apartado del estudio por elementos finitos del mecanismo, el factor de seguridad que se ha utilizado según la normativa aplicable es un factor de seguridad de 2,5 por lo que este será el valor de  $S_0$  que se va a utilizar.

Una vez que se tiene el valor del factor de seguridad, el siguiente paso es despejar  $C_0$  en función de los otros dos parámetros:

$$C_0 = s_0 \times P_0$$

El valor de  $P_0$ , denominado como el valor de la carga estática equivalente, viene determinado por la siguiente ecuación:

$$P_0 = X_0 \times F_r + Y_0 \times F_a$$

$P_0$  = carga estática equivalente, kN

$X_0$  = factor de carga radial del rodamiento, kN

$F_r$  = carga radial del rodamiento, kN

$Y_0$  = factor de carga axial del rodamiento, kN

$F_a$  = carga axial del rodamiento, kN (19)

En esta fórmula sólo se utilizarán los dos primeros términos, puesto que en el caso del estudio del mecanismo sólo interviene la carga radial, ya que el valor de la carga axial se puede considerar despreciable al ser un valor casi nulo. Por lo tanto

la carga estática equivalente sería igual a la carga radial del rodamiento, que a continuación se procederá a calcular.

Para calcular el valor de la fuerza radial del rodamiento, se van a tener en cuenta los dos siguientes valores: el peso total del mecanismo, y el peso de la persona que se va a sentar sobre la máquina. El peso de la persona vendrá multiplicado por el factor de seguridad del mecanismo, por lo que tal y como se ha explicado en apartados anteriores de este proyecto, para un peso de 70 kg, y utilizando un factor de seguridad de 2,5 se tendrá que el peso utilizado es de 175 kg.

Mediante el software Catia V5, con el cual se ha modelado el mecanismo, se ha calculado el peso total de la estructura, siendo el peso total de 123 kg, tal y como puede verse en el cuadro de propiedades en la siguiente ilustración:

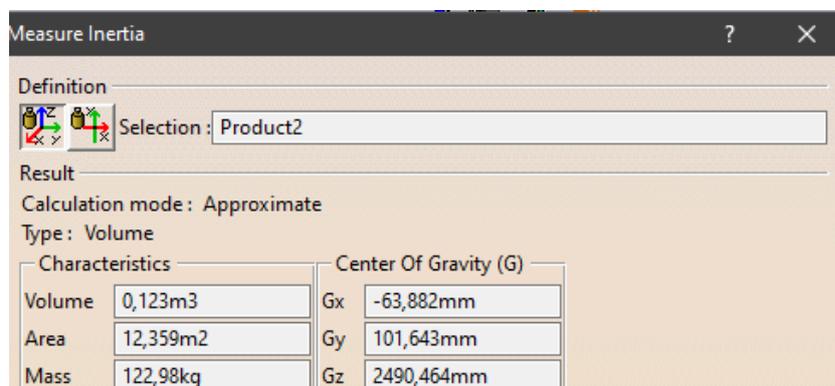


Ilustración 127. Peso de la máquina completa (Elaboración propia)

Por lo tanto, estos dos valores son los que definirán el valor de la carga radial del rodamiento, y por lo tanto aplicado este coeficiente de seguridad se tendrá que la capacidad de carga estática del rodamiento tiene el siguiente valor:

$$C_0 = (123 \text{ kg} + 175 \text{ kg}) \times \frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2} = 2871,4 \text{ N} = 2,871 \text{ kN}$$

Asimismo, con este valor, ya se puede buscar en el catálogo de los rodamientos que vaya a utilizar y utilizando el diámetro del eje que se desee el rodamiento. En el caso de este proyecto, el diámetro del eje ha de ser el mismo que el del rodamiento, y puesto que se utilizará un diámetro de 20 mm, se buscará en el catálogo de rodamientos SKF un rodamiento con diámetro del eje 20 mm y una capacidad de carga estática superior a 2,871 kN.

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica dinámica C estática C <sub>0</sub>	Carga límite de fatiga P <sub>u</sub>	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B			Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN	kN	r. p. m.		kg	-

## ESTUDIO DE UN APARATO BIOSALUDABLE: EL ASCENSOR

20	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	28 000	0,018	61804
	37	9	6,37	3,65	0,156	43 000	26 000	0,037	61904
	42	8	7,28	4,05	0,173	38 000	24 000	0,05	61604
	42	12	9,95	5	0,212	38 000	24 000	0,067	6004
	47	14	13,5	6,55	0,28	32 000	20 000	0,11	6204
	47	14	15,6	7,65	0,325	32 000	20 000	0,098	6204 ETN9
	52	15	16,8	7,8	0,335	30 000	19 000	0,14	6304
	52	15	18,2	9	0,38	30 000	19 000	0,14	6304 ETN9
	72	19	30,7	15	0,64	24 000	15 000	0,41	6404

Ilustración 128. Valores para un rodamiento de 20 mm (Catálogo de rodamientos SKF)

El valor que se ha obtenido de la capacidad de carga es de 2,871 kN. Para elegir el rodamiento que se va a utilizar se ha de coger aquel cuya capacidad de carga estática sea inmediatamente superior a la calculada. Por lo que si se observa la imagen superior, se tiene que el valor de la capacidad de carga estática superior a la calculada es de 3,65 kN, por lo que el rodamiento que se escogerá es el 61904. (25)



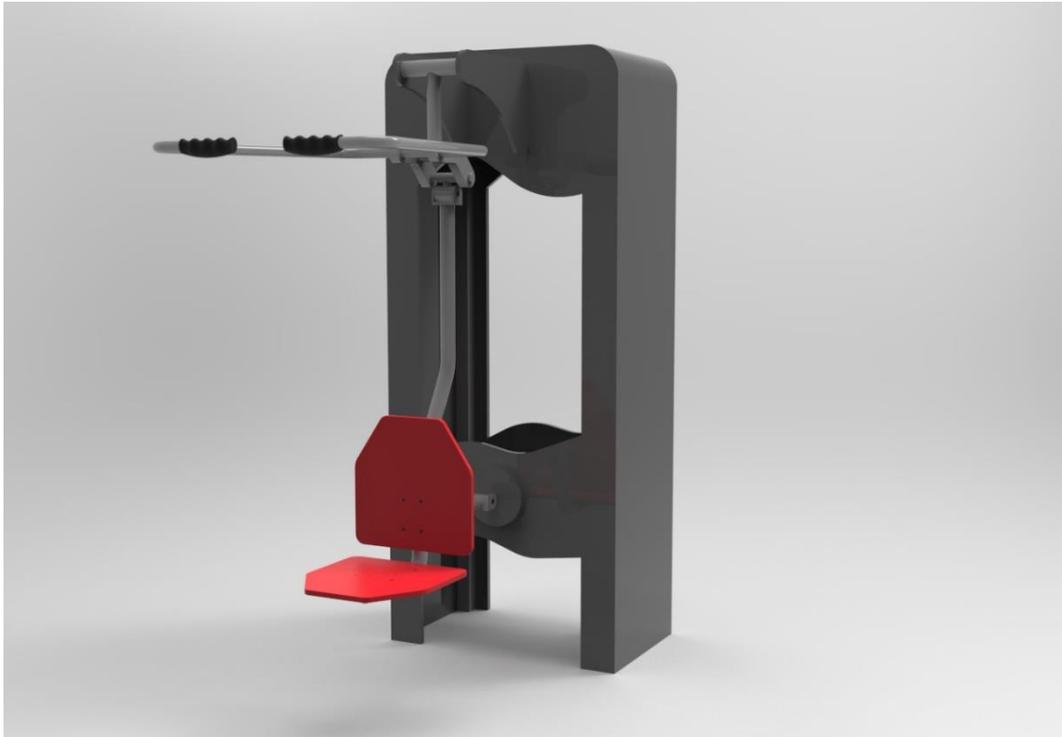
Ilustración 129. Rodamiento utilizado (<http://www.si-rifa.com/rodamientos-skf.html>)

Cabe destacar además que el rodamiento irá cerrado mediante unos obturadores para que la suciedad no entre en las bolas del rodamiento, ya que si en algún momento entrara algún tipo de suciedad, esto provocaría que el rodamiento perdería prestaciones a largo plazo.

Para la instalación de los rodamientos es necesario hacer un segundo taladro en el eslabón, tal y como se ha mencionado anteriormente para permitir su instalación con una anchura un poco mayor a la del rodamiento para permitir que puedan rotar de una forma más libre y sin que el rodamiento se salga.

## 8. RENDERS

Puesto que el modelado de la máquina mediante el software Catia V5 da una idea de cómo es el aspecto estético de la máquina, a continuación se mostrarán una serie de renders realizados con el programa Keyshot en los cuales se podrá apreciar de una forma más precisa el aspecto estético de la máquina y su integración en exteriores.



*Ilustración 130. Render de estudio-1. (Elaboración propia)*

Comenzando con este primer render, se puede apreciar la máquina en su totalidad con los colores definidos. Se ha elegido que el color predominante sea el gris para el caso de la muestra de los renders, pero no significa que sea el color definitivo con el que se vaya a pintar la máquina, ya que esto dependerá del cliente, que podrá elegir de entre una gama de colores, la que más le resulte conveniente.

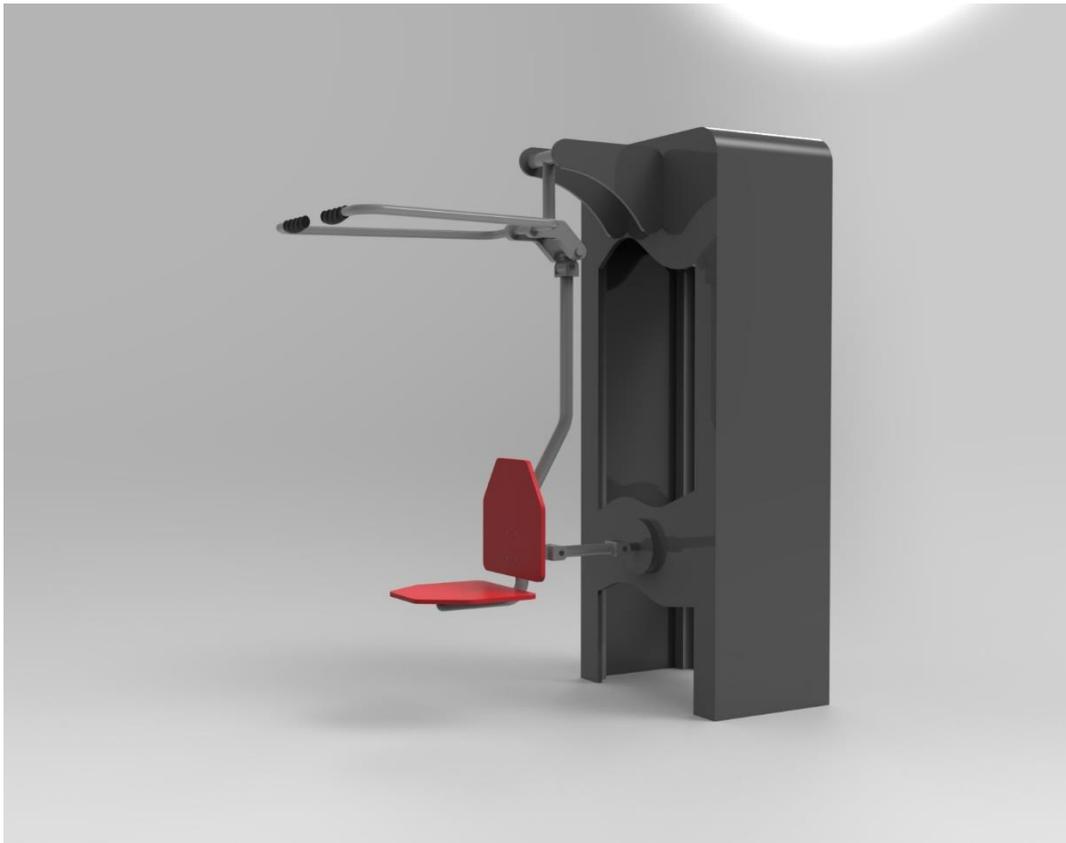


Ilustración 131. Render de estudio-2 (Elaboración propia)

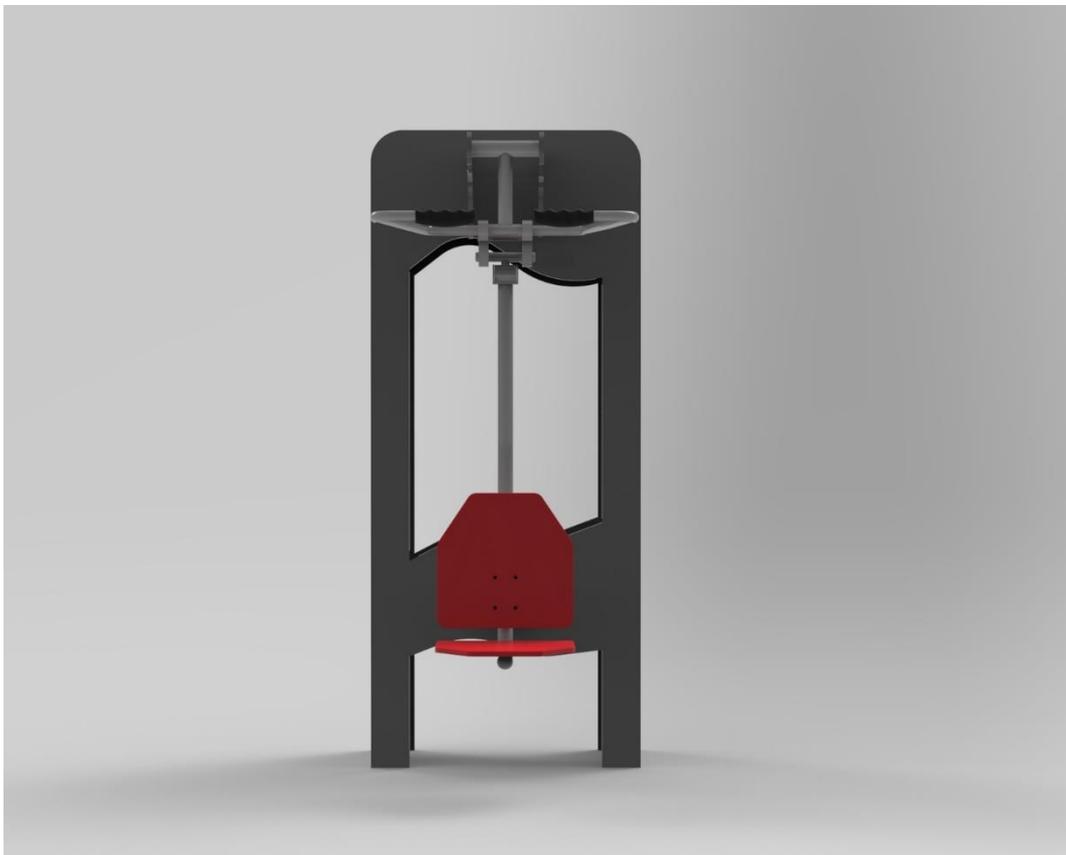
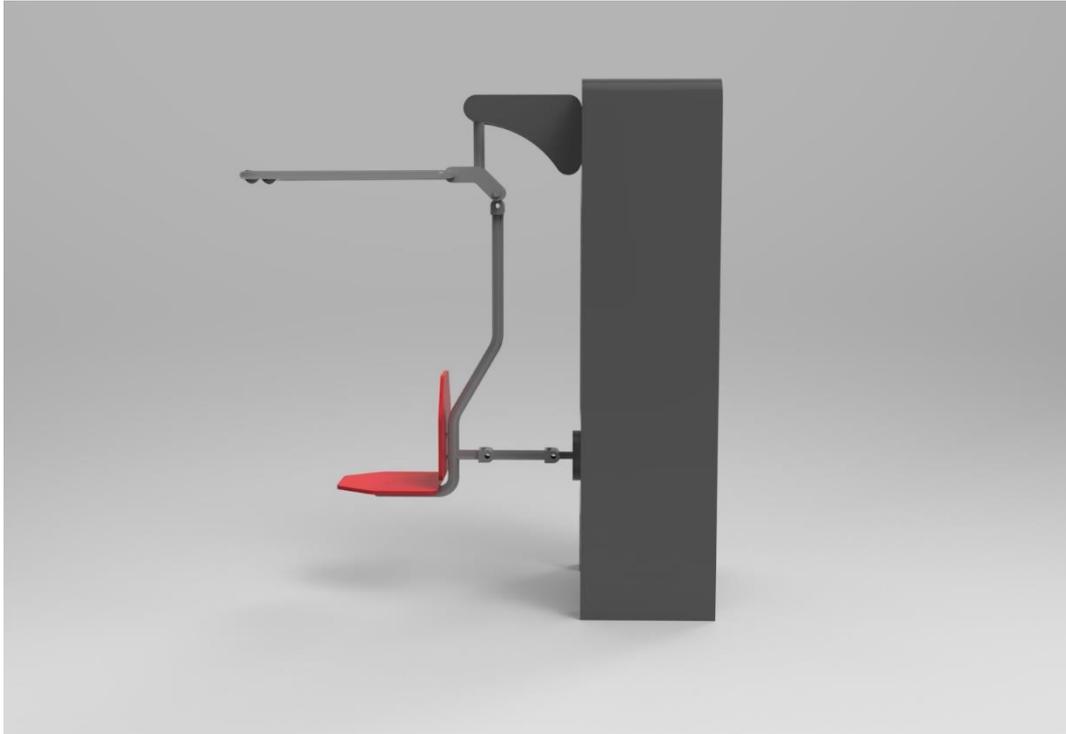
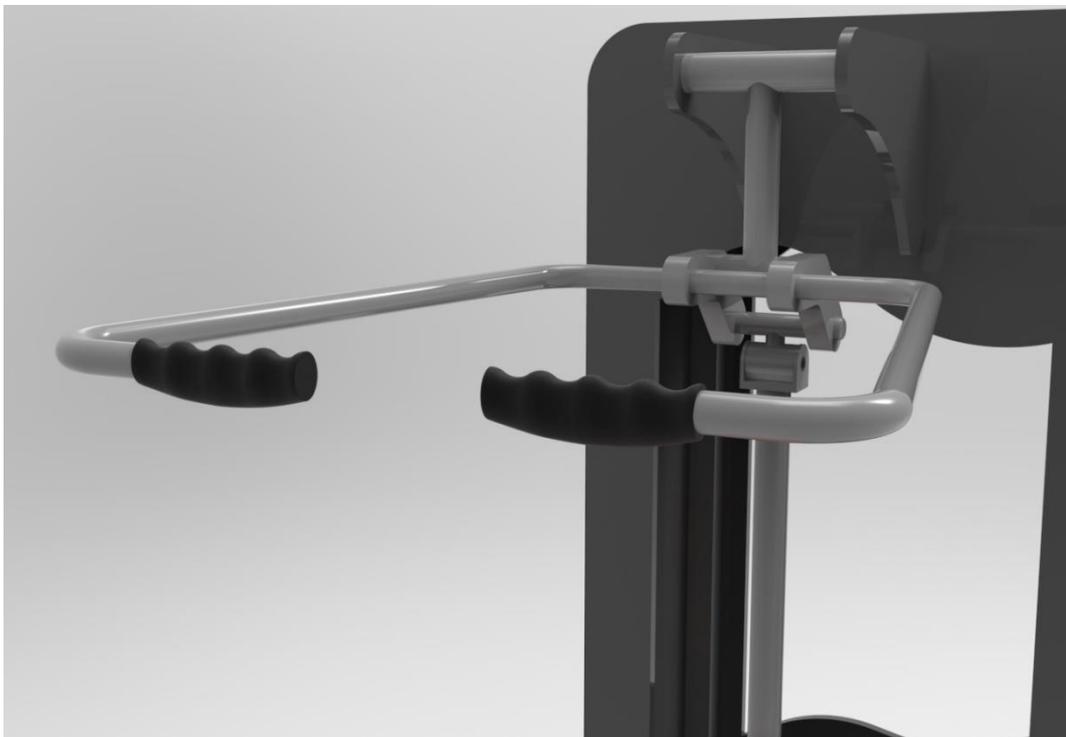


Ilustración 132. Render de vista frontal (Elaboración propia)



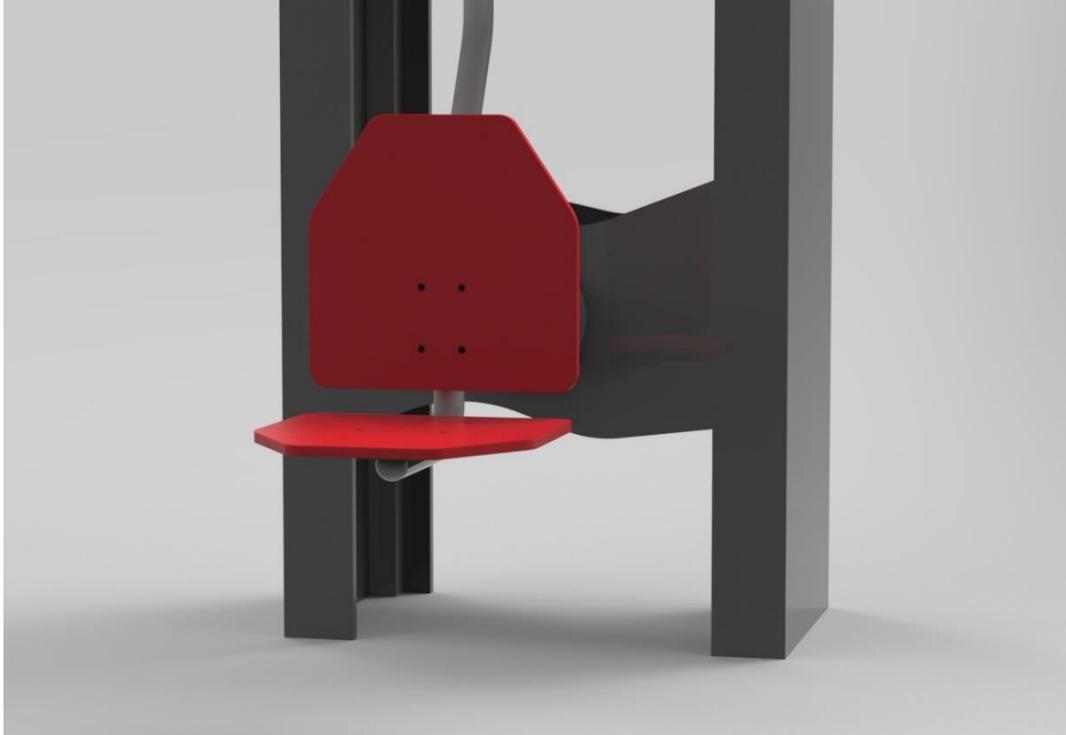
*Ilustración 133. Render de vista de perfil (Elaboración propia)*

Las dos imágenes anteriores muestran la vista frontal y la vista de perfil de la máquina, para que pueda observar de una manera más definida las diferentes uniones y forma de las diferentes partes que componen la máquina.



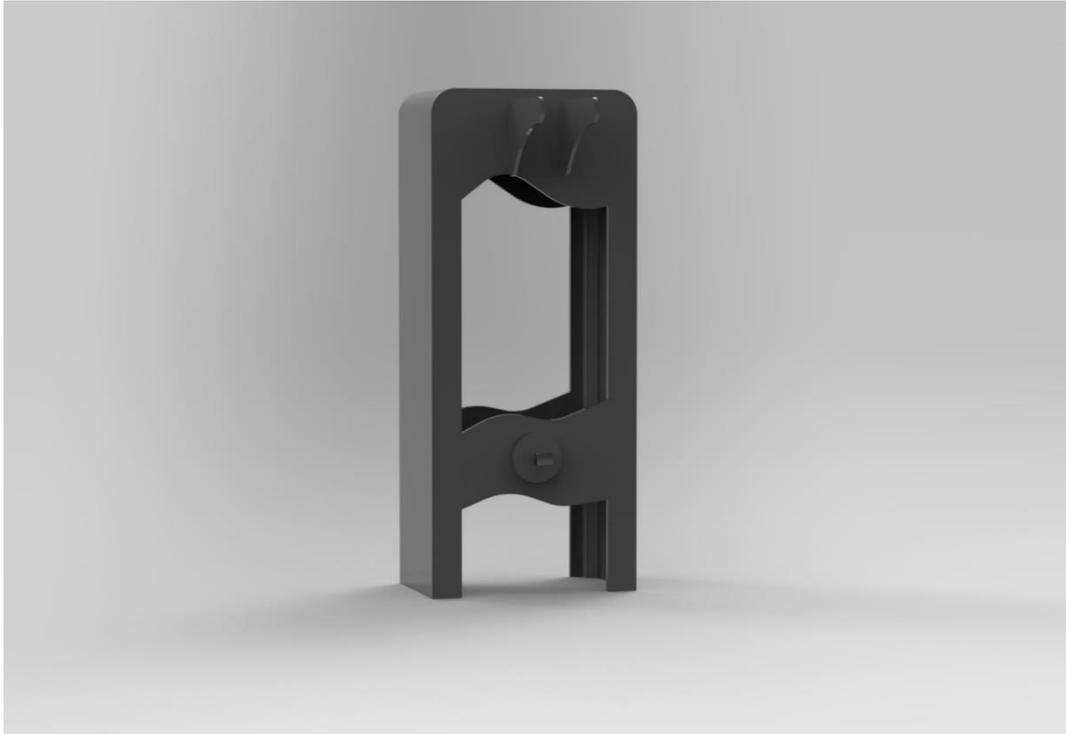
*Ilustración 134. Detalle de la parte superior (Elaboración propia)*

En la imagen superior se puede observar con mucha claridad cuál es la forma del manillar y cómo va anclada al soporte superior de agarre. Se ha decidido realizar este render puesto que muestra de una forma muy clara cómo es la parte superior de la máquina.



*Ilustración 135. Detalle del asiento. (Elaboración propia)*

Asimismo, en imagen superior también puede observarse la forma y posición del asiento con respecto al soporte principal.



*Ilustración 136. Soporte principal (Elaboración propia)*

Al igual que se han mostrado detalles de la parte superior junto con el manillar de agarre y del asiento, se ha hecho el render que puede verse en la imagen superior en la que se puede ver el soporte principal aislado. Se ha decidido hacer este render para que se pueda ver con más claridad las formas orgánicas que forman el soporte de chapa.

Aunque en renders anteriores puede verse con bastante nitidez las partes que conforman la máquina biosaludable, se ha decidido hacer un render de explosionado con todas las partes que forman la máquina, a excepción de los elementos de unión, tales como pernos, tuercas, arandelas y rodamientos. Uno de los motivos por los que se ha decidido hacer este render es que no ha podido verse en ninguno de los renders anteriores la forma que tiene la estructura principal, ya que al ir dentro del soporte principal, no se puede apreciar. El explosionado puede verse en las siguientes imágenes:



Ilustración 137. Explosionado de la máquina. (Elaboración propia)

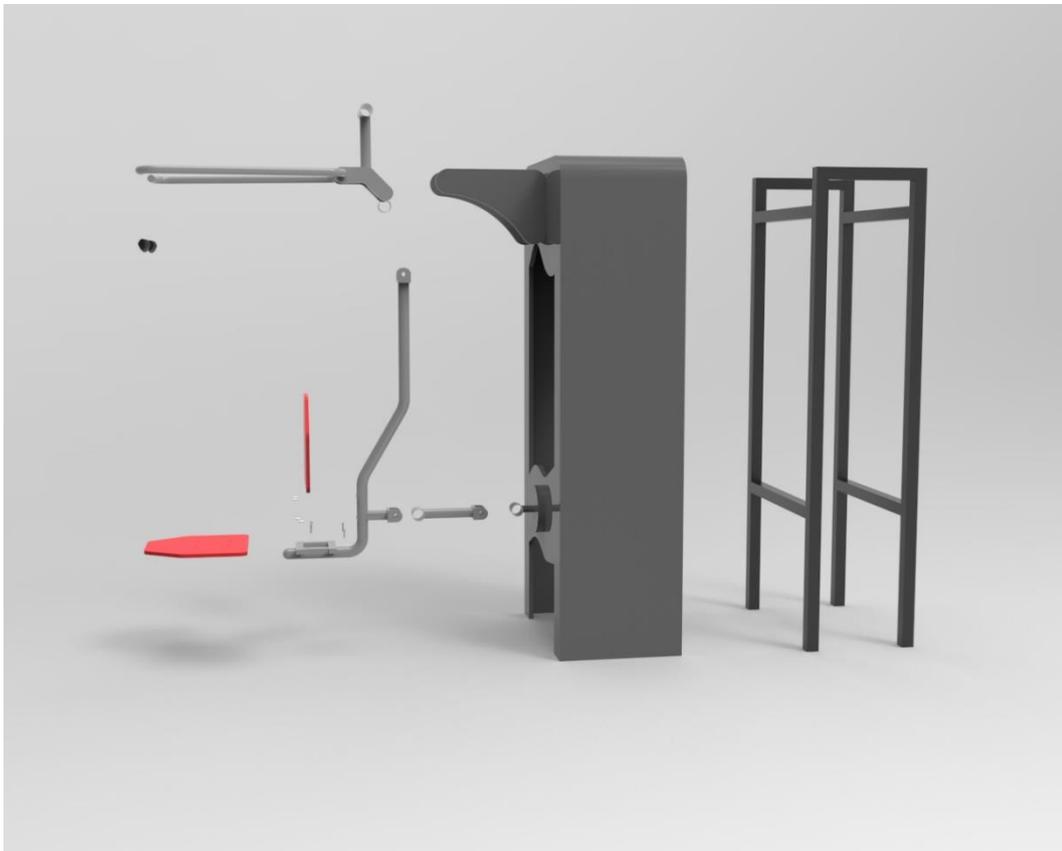


Ilustración 138. Render explosionado 2 (Elaboración propia)

## ESTUDIO DE UN APARATO BIOSALUDABLE: EL ASCENSOR

Por último, se mostrará un render de la máquina en un exterior para mostrar su integración en exteriores:



Ilustración 139. Render de exterior (Elaboración propia)



Ilustración 140. Render de integración con persona (elaboración propia)

## 9. PROCESOS DE FABRICACIÓN Y MAQUINARIA A EMPLEAR

### 9.1. Soldadura

Para los procesos de soldadura, hay que tener en cuenta el material que se va a soldar. Como se ha definido en el apartado de materiales, el material metálico a utilizar será el acero galvanizado, por lo que hay que tener en cuenta que no cualquier tipo de soldadura vale para soldar este material.

Tal y como se ha mencionado en el apartado de materiales, el componente principal del galvanizado es el zinc, material que funde a 450°C y que puede ser tanto en caliente como en frío.

Para soldar el galvanizado, hay diferentes opciones, entre las cuales se encuentran las siguientes: existen electrodos especiales, aunque en muchas ocasiones conviene más soldar con electrodo de rutilo o con soldadura del estilo MAG (soldadura de metal con gases activos) con aportación de ER-70S6 para soldadura normal. Una de las cosas a tener en cuenta a la hora de realizar esta soldadura es que el galvanizado puede salpicar. Esto se produce debido a que al hacer el contacto con el electrodo, la alta temperatura hace que el zinc que se desprende y queme rebosando, salpicando así la soldadura, por lo que es importante tener un equipo de seguridad adecuado. Por lo tanto, lo recomendable es utilizar una amoladora para quitar la capa de zinc en los puntos de soldadura, como la que se puede ver a continuación: (26)



Ilustración 141. Amoladora

[https://www.herramientaprofesional.com/es/amoladora\\_angular\\_makita\\_qa9020r.php](https://www.herramientaprofesional.com/es/amoladora_angular_makita_qa9020r.php)

A continuación se procede a explicar la soldadura que se va a utilizar, que como se ha explicado anteriormente, consiste en una soldadura MAG (soldadura con gases activos). En la soldadura MAG se usan como gases de protección mezclas con dióxidos de carbono, argón u oxígeno. Es un proceso muy rentable, por lo que es uno de los procedimientos de unión más usados. El proceso consiste en que entre el electrodo (que en este caso será de rutilo) y la piza se genera un arco eléctrico que funde el electrodo, creando así un arco de soldadura. El gas de protección tiene como función principal circular alrededor del arco eléctrico y protege el baño de fusión de los efectos atmosféricos que puedan ocurrir. (27)

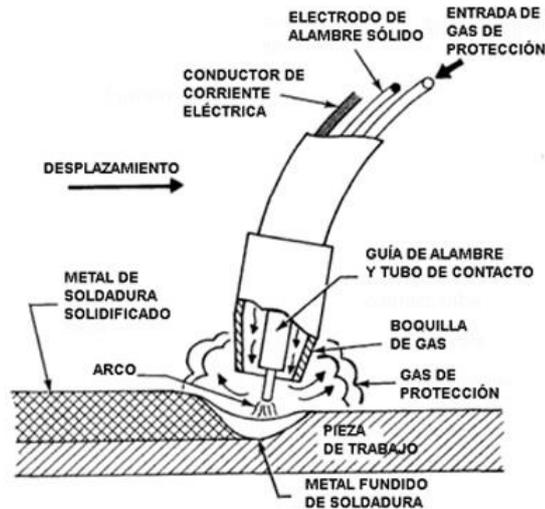


Ilustración 142. Soldadura MAG (<https://ilmo.es/soldadura-tig-mig-mag-por-puntos/>)

A continuación, se muestra una imagen en la cual se puede ver una máquina de soldadura:



Ilustración 143. Máquina de soldadura (<https://www.expondo.es/stamos-germany-soldadora-multiproceso-tig-mig-mag-mma-fcaw-195-a-10020162>)

## 9.2. Máquinas de corte

A continuación, se muestra la máquina con la cual se cortarán todas las piezas de metal. Para las barras de metal que vayan en bruto, se usará una sierra para metales, máquina muy utilizada para cortar perfiles y tubos. La máquina se muestra a continuación:



Ilustración 144. Sierra automática de metales (<https://www.directindustry.es/prod/siloma/product-25894-464378.html>)

Se trata de una sierra automática, la cual funciona introduciendo el material a mecanizar, teniendo la posibilidad de introducir varias piezas a la vez, agilizando el trabajo.

### 9.3. Curvadora

Existen una serie de piezas, como por ejemplo los agarradores y el perfil del asiento que deberán tener una curvatura, por lo que se utilizará una curvadora de metales, como la que se puede ver a continuación:



Ilustración 145. Curvadora de metales (<https://www.directindustry.es/prod/perfect-laser-co-ltd-china/product-71313-1124605.html>)

Además, esta máquina es automática, por lo que introduciendo un código CNC con las instrucciones, la máquina realizará las operaciones a realizar, sin necesidad de invertir mucho tiempo en calcular.

#### 9.4. Fresadora y taladros

Se usará también una fresadora, en este caso una fresadora CNC, para realizar todas las operaciones de mecanizado que lo requieran:



Ilustración 146. Fresadora CNC (<https://www.directindustry.es/prod/haas-automation-inc/product-7235-1863017.html>)

Además de la fresadora, también se utilizará una máquina de taladros, que son necesarios para las uniones entre los elementos, como la que se puede ver a continuación:

#### 9.5. Inyectora de plástico

Para el diseño y producción del asiento, se harán con polietileno de alta densidad debido a sus prestaciones y el proceso mediante el cual se harán el respaldo y el asiento será por inyección de plástico. Cabe decir que como ambas piezas poseen la misma geometría, sólo se fabricará un molde, con el consiguiente ahorro de dinero. La máquina es como la que se puede ver a continuación:



Ilustración 147. Inyectora de plástico (<http://www.plastico.com/temas/Maquina-inyectora-de-plastico-LOG320-S8-con-servo-motor-para-ahorro-de-energia+114847>)

El principal proceso de producción para fabricar este tipo de asientos, es el moldeo por inyección, proceso que consta de cuatro fases que se hacen de forma sincronizada:

- Cierre del molde: se suministra el polímero, en este caso polietileno en la unidad de inyección y se cierra el molde por presión.
- Inyección: primero se inyecta el plástico mediante una boquilla dentro del molde. Para lograr que la pieza mantenga las dimensiones adecuadas, la presión también se mantiene.
- Enfriamiento: la pieza se queda dentro del molde hasta enfriarse completamente.
- Apertura y expulsión de la pieza: el molde se abre y se expulsa la pieza.

Es un proceso que requiere gran precisión ya que todos los movimientos que realiza la máquina deben estar sincronizados a la perfección. Además dentro del proceso, intervienen varias variables, de entre las cuales las más importantes son: la temperatura del material, la presión de inyección, la velocidad de inyección, la presión y el tiempo de mantenimiento y el tiempo y velocidad de enfriamiento. (28)

### 9.6. Proceso de pintado

En cuanto al proceso de pintado, el tipo de pintura que se utilizará será una pintura en horno. La pintura en polvo es una pintura especial que se endurece con el calor. Una vez aplicada, se introduce en el horno con una temperatura de al menos 150°C, logrando un acabado mucho más duradero y más resistente. Lo que ofrece este tipo de pinturas es principalmente mucha más resistencia a la intemperie y a los fenómenos climatológicos adversos.

El tipo de pintura será pintura Epoxi, hecho con resinas epoxídicas. La pintura epóxica consiste en un recubrimiento de dos componentes elaborados de resina epóxica. Este material tiene una alta resistencia química a sustancias como el agua, los álcalis y los ácidos, produciendo unos recubrimientos brillantes y mejorando la adherencia. (29)

## 10. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Una vez concluido el estudio y diseño de esta máquina biosaludable. Se van a extraer una serie de conclusiones y posibles opciones de mejora para optimizar el diseño de la máquina.

Para comenzar, una de las primeras conclusiones que se extraen de este proyecto es que una mejora en el diseño conlleva un aumento del coste de producción. Una de las principales singularidades de este proyecto, que a primera vista puede resultar extraño, es el precio. La justificación de este argumento se basa en que se han elaborado formas más complejas para hacer estéticamente más atractivo a la vista, y por lo tanto, se ha utilizado más material, con su consiguiente gasto tanto en la mano de obra como en el coste de producción. Una de las posibles mejoras que se podría hacer para abaratar el coste sería estandarizar más los componentes para que no sean tan variados, y reducir así la cantidad de material utilizado.

Destacar que el objetivo de este proyecto no es construir una máquina biosaludable barata, sino proponer una mejora de diseño para que se destaque de entre los modelos existentes en el mercado, aunque esto conlleve un aumento en el precio.

Otro de los aspectos que se podría mejorar si se siguiera con el estudio de esta máquina sería realizar más estudios de elementos finitos con el objetivo de reducir la cantidad de material utilizado. Esto también repercutiría en el precio de la máquina, por lo que sería interesante si se tuviera el tiempo suficiente como para realizar muchos estudios para reducir el material utilizado.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

1. Parques biosaludables para la tercera edad [Internet]. [citado 18 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://urbeadapta.com/parques-biosaludables/>
2. José Ignacio Calvo Arenillas D, Fausto José Barbero Iglesias D. Guía de utilización de parques biosaludables de la ciudad de Salamanca.
3. Estudio de los circuitos biosaludables para la tercera edad en España [Internet]. [citado 13 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista33/artanalisis95.htm>
4. Los Circuitos Biosaludables: el fenómeno de la actividad física en los parques – ANGEL RONCERO AZABAL CAFYD [Internet]. [citado 13 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://angelronceroazabalcafyd.com/2017/08/12/los-circuitos-biosaludables-el-fenomeno-de-la-actividad-fisica-en-los-parques/>
5. Beneficios de los parques biosaludables | Civideportes [Internet]. [citado 18 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://civideportes.com.co/blog/beneficios-de-los-parques-biosaludables/>
6. Parques biosaludables - Concello de Vigo [Internet]. [citado 18 de mayo de 2020]. Disponible en: [http://hoxe.vigo.org/movemonos/sanidade\\_pbio.php?lang=cas#/](http://hoxe.vigo.org/movemonos/sanidade_pbio.php?lang=cas#/)
7. (ENCH) Eco Biosaludable EL ASCENSOR ENCH-02 [Internet]. [citado 18 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://grupfabregas.com/producto/eco-biosaludable-el-ascensor-ench-02/>
8. Aparato de Fitness Biosaludable Tramontana (Ascensor) [Internet]. [citado 18 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.juegosalairlibre.com/aparato-fitness-biosaludable-tramontana-ascensor>
9. 30251E | Parques Infantiles de Colombia [Internet]. [citado 18 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.parquesinfantilesdecolombia.com/parques-infantiles/pectoral-y-ascensor-parque-biosaludable/>
10. comprar aparatos biosaludables [Internet]. [citado 18 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.equidesa.com/productos/equipamiento-deportivo-urbano/aparatos-biosaludables/ascensor-biosaludable-189>
11. (WD) Biosaludable ELEVADOR WD-010471 [Internet]. [citado 18 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://grupfabregas.com/producto/biosaludable-elevador-wd-010471-wd-010471/>
12. 2907 El Ascensor | Fercity [Internet]. [citado 18 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://fercity.com/producto/elementos-saludables-el-ascensor>

13. El ascensor 2019 biosaludable [Internet]. [citado 18 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.equidesa.com/productos/equipamiento-deportivo-urbano/comprar-aparatos-biosaludables-calidad/el-ascensor-2019-biosaludable-810>
14. Ascensor Mixto - MyParque [Internet]. [citado 18 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.myparque.com/producto/ascensor-mixto/>
15. Mondelo PR, Torada EG, Bombardó PB. Ergonomía 1: Fundamentos [Internet]. 2010. Disponible en: <http://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=nqipsDjjsekC&pgis=1>
16. Steegmann E, Acebillo Marín JA. Las Medidas en arquitectura [Internet]. Vol. 2a. 2008. 190 p. Disponible en: [http://cataleg.upc.edu/record=b1319925~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1319925~S1*cat)
17. Datos antropométricos de la población laboral española [Internet]. [citado 18 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/prevencontrol/datos-antropometricos-de-la-poblacion-laboral-espaola>
18. Eslabones : Definición y Clasificación [Internet]. [citado 28 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/FabianMartinez89/eslabones-definicion-y-clasificacion>
19. Mostaza Fernández R. Apuntes Sistemas Mecánicos. 2018.
20. De La Cruz IJ, Especializado en Análisis L, Simulación D. Análisis de esfuerzo mediante el método de elementos finitos utilizando Autodesk Inventor.
21. AENOR. Equipos fijos de entrenamiento físico instalados al aire libre. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo. 2015;
22. El Acero Galvanizado. El blog de Esmelux. [Internet]. [citado 18 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.esmelux.com/blog/el-acero-galvanizado>
23. Proceso de galvanizado: ¿qué es y qué ventajas tiene? - ferrosplanes [Internet]. [citado 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://ferrosplanes.com/proceso-galvanizado-ventajas/>
24. ¿Qué es el polietileno de alta densidad (HDPE)? | Cartenplast [Internet]. [citado 18 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://cartenplast.com/es/hdpe-polietileno-a-alta-densidad/>
25. SKF. Selección de Rodamientos. Cat SKF Rodamientos [Internet]. 2015;1-1382. Disponible en: [https://www.skf.com/binary/87-121486/0901d19680416953-10000\\_2-ES---Rolling-bearings.pdf](https://www.skf.com/binary/87-121486/0901d19680416953-10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf)
26. SOLDADURA: CURSOS Y HOMOLOGACIONES: Soldadura sobre hierro galvanizado [Internet]. [citado 15 de junio de 2020]. Disponible en:

<http://soldaduracursos.blogspot.com/2017/09/soldadura-sobre-hierro-galvanizado.html>

27. Soldadura MAG [Internet]. [citado 15 de junio de 2020]. Disponible en: <https://industrial.airliquide.es/transportes/astilleria-naval/soldadura-mag>
28. La inyección de plástico: qué es y para qué sirve | Plactical SL [Internet]. [citado 15 de junio de 2020]. Disponible en: <https://placticalsl.com/inyeccion-plastico-que-es-para-que-sirve/>
29. Qué es la pintura al horno. Cuál es la ventaja de pintar una puerta al horno [Internet]. [citado 15 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.puertaskiuso.com/pintura-al-horno/>

## 12. ANEJOS