



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Diseño de un mecanismo articulado para la práctica de ejercicio físico: bicicleta elíptica.

Autor:

Ana Gutiérrez París

Tutor:

Roberto Mostaza Fernández
Dpto.

CMeIM/EGI/ICGF/IM/IPF

Valladolid, julio 2018

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA
PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

RESUMEN

Este trabajo trata sobre el diseño de un mecanismo articulado, concretamente una máquina biosaludable como es la bicicleta elíptica, para ser utilizado en instalaciones públicas. Para la ejecución de dicho trabajo se comenzará realizando estudios en Working Model, con el fin de concretar inicialmente las dimensiones del mecanismo. Posteriormente se realizará un estudio resistente, para seleccionar los perfiles de las barras que conformarán el mecanismo. Una vez concretas las dimensiones, se realizará el modelado en tres dimensiones (3D) del mecanismo, es decir, tanto de las piezas como del ensamblaje de las mismas, con el programa Inventor Professional de Autodesk, del cual se obtendrán también los planos. Se explicarán los pasos a seguir para la fabricación de cada una de las barras, así como la maquinaria y material necesario para ello. Además, se realizará un estudio de seguridad y un estudio económico.

PALABRAS CLAVE

Máquina biosaludable, estudio, diseño, cálculos y mecanismo.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA
PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	8
1.1.	DESCRIPCIÓN DE UN PARQUE BIOSALUDABLE:	8
1.2.	ELEMENTOS DE PARQUES BIOSALUDABLES.	9
1.3.	HISTORIA DE LOS PARQUES BIOSALUDABLES:	17
2.	OBJETIVOS.....	18
3.	ESTUDIO CINEMÁTICO	20
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL MECANISMO.....	20
3.2.	ESTUDIO DEL NÚMERO DE GRADOS DE LIBERTAD.....	22
3.3.	DESCRIPCIÓN DE LAS MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS.....	29
3.4.	PRUEBAS CON WORKING MODEL.	31
3.5.	CÁLCULO DE LA SECCIÓN Y ELECCIÓN DEL MATERIAL Y EL PERFIL DE LAS BARRAS.....	43
3.5.1.	CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE LAS BARRAS.	43
3.5.2.	ELECCIÓN DEL MATERIAL Y PERFIL DE LAS BARRAS.	61
3.6.	CÁLCULO DE RODAMIENTOS.....	64
3.6.1.	TIPOS DE RODAMIENTOS.....	65
3.6.2.	CÁLCULO DEL EJE DE LOS PARES ROTATIVOS.	69
3.6.3.	CÁLCULO DE RODAMIENTOS.	81
3.7.	CÁLCULO DE LA BANCADA.....	89
3.7.1.	CÁLCULO DE LAS ANCHURAS DE LA BANCADA.	90
3.7.1.1.	CÁLCULO DEL SOPORTE PARA LOS PIES.....	90
3.7.1.2.	CÁLCULO DE LA ANCHURA DEL PAR A.....	91
3.7.1.3.	CÁLCULO DE LA ANCHURA DEL PAR E.....	92
4.	DESARROLLO DE LAS PIEZAS EN AUTODESK INVENTOR	94
4.1.	MANIVELA.....	95
4.2.	BIELA.....	98
4.3.	BALANCÍN	100
4.4.	BANCADA.....	104
4.5.	SOPORTE PARA LOS PIES.....	110

4.6.	ENSAMBLAJE:	111
5.	PROCESO DE PRODUCCIÓN	112
5.1.	DIAGRAMAS DE PROCESOS DE LAS DIFERENTES PIEZAS	112
5.1.1.	MANIVELA	112
5.1.2.	BIELA	114
5.1.3.	BALANCÍN	115
5.1.4.	BANCADA	117
5.1.5.	SOPORTE PARA PIES	118
5.2.	DIAGRAMA DE PROCESOS DEL MONTAJE	119
5.3.	MAQUINARIA Y TÉCNICAS NECESARIAS TANTO PARA REALIZAR LAS PIEZAS COMO PARA UNIRLAS	120
5.3.1.	MÁQUINA CORTADORA	120
5.3.2.	FRESA DE CONTROL NUMÉRICO	121
5.3.3.	TREN DE DOBLAJE	122
5.3.4.	UNIÓN MEDIANTE SOLDADURA	123
5.3.5.	MÁQUINA DE PINTURA	124
5.3.6.	UNIÓN DE LAS PIEZAS	126
5.3.6.1.	TORNILLOS	126
5.3.6.2.	ARANDELAS	127
5.3.6.3.	TAPAS DE PLÁSTICO	127
5.3.6.4.	UNIÓN SOPORTE PIES-BIELA	129
6.	ESTUDIO DE SEGURIDAD	130
6.1.	DEFINICIÓN DE RIESGOS	134
6.1.1.	CONDICIONES DE SEGURIDAD	134
6.1.2.	CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES	140
6.1.3.	FATIGA	144
6.1.4.	INSATISFACCIÓN	146
6.2.	EVALUACIÓN DE RIESGOS	147
6.2.1.	CONDICIONES DE SEGURIDAD	147
6.2.2.	CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES	151
6.2.3.	FATIGA	152

6.2.4.	INSATISFACCIÓN	153
6.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	154
7.	ESTUDIO ECONÓMICO	155
7.1.	COSTES DIRECTOS.....	155
7.1.1.	COSTES DE DISEÑO.....	155
7.1.2.	COSTES DE FABRICACIÓN PIEZAS	155
7.1.2.1.	MANIVELA	157
7.1.2.2.	BIELA	157
7.1.2.3.	BALANCÍN.....	158
7.1.2.4.	BANCADA	158
7.1.2.5.	SOPORTE PIE	158
7.1.3.	MONTAJE	158
7.1.4.	COSTES DIRECTOS TOTALES.	159
7.2.	COSTES INDIRECTOS	160
7.3.	COSTE TOTAL.....	160
7.4.	BENEFICIO	160
7.5.	PRECIO FINAL	160
8.	CONCLUSIONES	162
9.	BIBLIOGRAFÍA:	164
10.	ANEXOS	168
10.1.	ESTUDIOS ESPAÑOLES DE CRECIMIENTO.....	168
10.2.	ESTUDIO ANTROPOMÉTRICO DE NIÑOS ENTRE 5 Y 10 AÑOS.....	168
10.3.	TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE.....	168
10.4.	CATÁLOGO HASTINIK GENERAL	168
10.5.	CATÁLOGO SKF.....	168
10.6.	CATÁLOGO EJES.....	168
10.7.	TORNILLO DIN 84	168
10.8.	CATÁLOGO NORMALIZADO TUERCAS.....	168
10.9.	GUÍA EVALUACIÓN RIESGOS LABORALES.....	168
11.	PLANOS	170
11.1.	MANIVELA COMPLETA 10.	170

11.2.	MANIVELA 10.1.	170
11.3.	MANIVELA 10.2.	170
11.4.	MANIVELA 10.3.	170
11.5.	BIELA COMPLETA 20.	170
11.6.	BIELA 20.1.	170
11.7.	BIELA 20.2.	170
11.8.	BIELA 20.3.	170
11.9.	BALANCÍN COMPLETO 30.	170
11.10.	BALANCÍN 30.1.	170
11.11.	BALANCÍN 30.2.	170
11.12.	BALANCÍN 30.3.	170
11.13.	BALANCÍN 30.4.	170
11.14.	BALANCÍN 30.5.	170
11.15.	BANCADA COMPLETA 40.	170
11.16.	BANCADA 40.1.	170
11.17.	BANCADA 40.2.	170
11.18.	BANCADA 40.3.	170
11.19.	BANCADA 40.4.	170
11.20.	BANCADA 40.5.	170
11.21.	BANCADA 40.6. Y 40.7.	170
11.22.	BANCADA 40.8.	170
11.23.	BANCADA 40.9.	171
11.24.	BANCADA 40.10.	171
11.25.	SOPORTE PIE COMPLETA 50.	171
11.26.	SOPORTE PIE 50.1.	171
11.27.	SOPORTE PIE 50.2.	171
11.28.	EJE PAR A 60.	171
11.29.	TAPA PLÁSTICO 70.	171
11.30.	ENSAMBLAJE	171

1. INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DE UN PARQUE BIOSALUDABLE:

Los parques biosaludables, también conocidos como bioparques, son instalaciones deportivas verdes, compuestas por varios equipos especializados de ejercicio, orientadas a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos a través de la actividad física. Normalmente están situados al aire libre en espacios públicos y se pueden utilizar de forma terapéutica, lúdica o deportiva. De hecho lo novedoso de estos parques es la adecuación de las máquinas a las que antes solo se podía acceder en gimnasios cerrados o clínicas de rehabilitación, para su instalación al aire libre.

Su objetivo principal es mejorar la salud de los ciudadanos, manteniendo el cuerpo y la mente en forma, independientemente de la edad de estos, ya que pueden ser utilizados por personas de todos los rangos de edad, incluso niños.

Estos parques consiguen mejorar la tonificación, la coordinación y el mantenimiento cardiovascular, con lo que se consigue reducir los niveles de colesterol y controlar el peso, como consecuencia a todo esto, ayudan a prevenir enfermedades y mejorar nuestra salud.

En cuanto al entorno terapéutico, estos parques consiguen aumentar la movilidad articular e incrementar la destreza óculo manual, por lo que se les recomienda a personas dependientes o en rehabilitación. Estos aparatos se utilizan en una rama de la fisioterapia muy importante, denominada cinesiterapia, que consiste en la prevención o el tratamiento de diferentes dolencias o lesiones a través de un agente físico como es el movimiento, si ese movimiento se lleva a cabo con la ayuda de mecanismos, como es el caso, se denomina mecanoterapia.

1.2. ELEMENTOS DE PARQUES BIOSALUDABLES.

En los parques biosaludables se puede encontrar diversos equipos especializados de ejercicio los cuales se clasifican en:

1. **Equipos de calentamiento:** estos equipos se utilizan para iniciar la actividad física:

- **Volante:** potencia, desarrolla y mejora la musculatura de los hombros. Mejora la flexibilidad general de las articulaciones de hombros, muñecas, codos y clavículas.
Utilización: colocarse en medio de las dos ruedas y sujetar con ambas manos las manillas. Girar las ruedas lentamente, primero en el sentido de las agujas del reloj y luego en sentido contrario.



Figura 1. El volante. Fuente: <http://ironlandspain.com>

- **La cintura (torsión de tronco):** fortalece la zona de la cintura y ayuda a relajar los músculos de cintura y espalda, refuerza la agilidad y la flexibilidad de la zona lumbar. En la vida diaria beneficia en la realización de tareas domésticas que impliquen giros de cintura, como cocinar.
Utilización: colocarse detrás de la plataforma y sujetarse con ambas manos a las manillas, subir primero un pie y después el otro. Realizar torsiones suaves de cintura sin levantar los pies ni soltar las manos.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA



Figura 2. La cintura. Fuente: <http://ironlandspain.com>

- **El timón:** refuerza la musculatura y circulación de miembros superiores así como la flexibilidad y agilidad de las articulaciones del hombro. Especialmente indicado para rehabilitaciones de movilidad de hombro. En la vida diaria beneficia en la realización de tareas como peinarse. Utilización colocarse en frente de la rueda, sujetarse con ambas manos a la misma. Hacer movimientos suaves hacia ambos lados, con cuidado de mantener una correcta postura corporal y no forzar el movimiento.

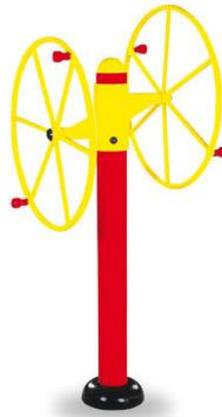


Figura 3. El timón. Fuente: <http://ironlandspain.com>

2. Equipos de coordinación de movimientos:

- **Esquí de fondo o bicicleta elíptica:** es una máquina muy completa, mejora la movilidad y desarrolla la fuerza muscular de los miembros superiores e inferiores, así como en la cintura. Mejora la flexibilidad de las articulaciones, la coordinación y fortalece la función cardiaca y pulmonar. En la vida diaria ayuda a desplazarse con mayor facilidad y a tener mejor resistencia. Utilización: colocarse junto al equipo, subir el pie al estribo cuando el pedal está abajo, agarrarse de las manillas y subir el otro pie. Sin soltar las manos, mover las piernas en sentido de la marcha, como si estuvieras caminando. (El diseño de este aparato será objeto del Proyecto fin de Grado)



Figura 4. Esquí de fondo o bicicleta elíptica. Fuente: <http://ironlandspain.com>

- **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. Utilización: agarrarse a las manillas y subir un pie al estribo y posteriormente el otro. Mover las piernas en sentido de la marcha, como si estuvieras caminando.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA



Figura 5. Los patines. Fuente: <http://ironlandspain.com>

- **Surf:** refuerza la musculatura de la cintura, mejora la flexibilidad, la coordinación, la circulación y el sistema digestivo. Recomendado para personas de todas las edades. Fortalece las zonas lumbares dorsales y caderas. (está limitado para personas con problemas articulares de espalda o de cadera, deben consultar al médico para usar este elemento).
Utilización: colocarse en la plataforma y sujetarse a las manillas. Mover suavemente las piernas a ambos lados.



Figura 6. Surf. Fuente: <http://ironlandspain.com>

- **Las barras:** fortalece los músculos del hombro y el abdomen. Mejora la condición muscular de la espalda. Con este elemento se realiza un ejercicio de fuerza que debe realizarse de manera no violenta. Es utilizado también para estiramientos de extremidades. En la vida diaria ayuda a realizar tareas como agacharse y levantarse.
Utilización: colocarse frente a las barras y sujetarlas. Flexionar las rodillas y subir manteniendo el cuerpo recto y sin bajar demasiado para que no se dificulte la subida.



Figura 7. Las barras. Fuente: <http://ironlandspain.com>

3. Equipos de ejercicios:

- **El ascensor:** refuerza y desarrolla la musculatura de pecho, espalda, hombros y brazos mejorando la capacidad cardiopulmonar. Ayuda a prevenir problemas de espalda, columna y brazos.
Utilización: sentarse con la espalda apoyada y mirando hacia el frente, coger las manillas con ambas manos. Tirar hacia ti suavemente, y posteriormente tirar hacia arriba.



Figura 8. El ascensor. Fuente: <http://ironlandspain.com>

- **El caballo:** desarrolla la musculatura de los miembros superiores: pecho hombros y espalda. Mejora la flexibilidad y agilidad de la articulación de hombro y codo. En la vida diaria ayuda a realizar tareas como mover objetos pesados.
Utilización: sentarse con la espalda apoyada y mirando hacia el frente, coger las manillas con ambos brazos paralelos al suelo. Mover los brazos hacia delante y hacia atrás sin arquearlos.



Figura 9. El caballo. Fuente: <http://ironlandspain.com>

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

- **El pony:** fortalece la musculatura de brazos, piernas, cintura, abdominal, espalda y pecho, permitiendo un completo movimiento de las extremidades y por lo tanto mejorando la coordinación entre los cuatro miembros. Fortalece y mejora la capacidad cardiopulmonar.
Utilización: sentarse en la silla con la espalda apoyada y mirando hacia el frente, sujetar las manillas con ambas manos y colocar los pies en los estribos. Estirar las piernas al mismo tiempo que se flexionan los brazos.



Figura 10. El pony. Fuente: <http://ironlandspain.com>

- **El columpio:** desarrolla y refuerza las musculaturas de pierna y de cintura, en concreto cuádriceps, gemelos, glúteos y músculos abdominales inferiores. En la vida diaria ayuda a realizar ejercicios como subir escaleras, agacharse y levantarse.
Utilización: sentarse con la espalda apoyada y mirando hacia el frente y colocar los pies en los estribos. Estirar y flexionar las rodillas suavemente.



Figura 11. El columpio. Fuente: <http://ironlandspain.com>

4. Equipos de relajación:

- **El masaje:** relaja la tensión muscular de cadera y espalda. Ayuda a mejorar la circulación y el sistema nervioso. Evita la fatiga muscular al realizar tareas.
Utilización: apoyar la espalda en los rodillos. Moverse lateralmente o coger las manillas y subir y bajar las mismas.



Figura 12. El masaje. Fuente: <http://ironlandspain.com>

1.3. HISTORIA DE LOS PARQUES BIOSALUDABLES:

Los parques biosaludables o circuitos biosaludables, tienen su origen en China, donde el respeto y la admiración a la tercera edad son muy importantes. En su cultura, hacer deporte en espacios públicos es una costumbre, debido a ello, estos parques tienen la esencia de la medicina tradicional china y de las artes marciales como el Thai Chi.

La aparición de estos circuitos en Europa tuvo lugar en Finlandia (2.005), gracias a la Agencia Finlandesa para la Tecnología y la Innovación (Tekes) y el grupo Lappset Oly (2.007), uno de los productores dominantes en el mercado europeo

En 2.005 se instaló en España el primer parque en el municipio de Leganés, Madrid, sin embargo, la primera iniciativa de diseño en nuestro país comenzó en mayo de 2007, de la mano de la Asociación Española de Fabricantes de Mobiliario Urbano y Parques Infantiles (AFAMOUR) en colaboración con la Federación Española de Empresarios e Industriales del Mueble (FEDERMUEBLE). Ambas organizaciones presentaron el diseño de un proyecto en colaboración con el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, que pretende mejorar la oferta existente en parques para mayores con el objetivo de ofrecer una mejor calidad de vida.

En nuestro país estamos asistiendo a un gran crecimiento en estos últimos años del número de parques instalados en nuestras ciudades, este crecimiento comenzó en 2009 después de que la Comunidad Autónoma de Andalucía realizara la 1ª edición de “Actividades en Parques para Mayores, Ejercicios aconsejados y desaconsejados” con el apoyo de la Consejería de Turismo, Comercio y Deporte de la Junta de Andalucía (CTCDJA).

Posteriormente, el concepto de circuito biosaludable ha mutado a un parque con diferentes obstáculos, que exige el trabajo físico de todas las partes del cuerpo y de capacidades como el equilibrio, la coordinación, la fuerza, la elasticidad... e incluso para tratar dolencias o lesiones concretas. Pero lo realmente novedoso, como ya se ha comentado anteriormente, es la adecuación de los equipos para su instalación al aire libre ya que antes solo podían ser utilizados en gimnasios cerrados o clínicas de rehabilitación.

2. OBJETIVOS

En este trabajo se busca el diseño de una máquina biosaludable, tal y como es la bicicleta elíptica, con el fin de que las personas tanto jóvenes como de edad madura puedan ejercer acorde a sus condiciones físicas una actividad deportiva que genere salud tanto física como mental. Este ejercicio podrá realizarse de forma estática, además esta máquina se adapta a las necesidades de cada persona, en sentido de que el ejercicio puede ser más pausado o más intenso.

Se quiere diseñar una máquina biosaludable robusta, segura, con un diseño actual que aporte visibilidad al parque biosaludable o al lugar donde se sitúe posteriormente.

La elección de esta máquina se basa en que es una máquina muy completa a nivel deportivo ya que trabaja con gran variedad de músculos, causando bajo impacto en las articulaciones ya que amortigua los pasos que se realizan con ella.

Para realizar el diseño de la bicicleta elíptica se llevarán a cabo varias etapas, las cuales se describirán a continuación.

Inicialmente se comenzará realizando un estudio cinemático del mecanismo con la ayuda del programa Working Model, el cual realiza simulaciones del mismo en dos dimensiones. Tras un proceso prueba-error, se podrá llegar a unas dimensiones iniciales de las barras que conforman la máquina.

Una vez se obtengan dichas dimensiones, se procederá a modificar geoméricamente algunos parámetros, optimizando así el mecanismo y realizando estudios sobre la longitud del paso para conseguir que los usuarios de esta máquina sean tanto jóvenes como adultos.

Además se realizará el cálculo de los elementos que permitan un buen funcionamiento de la máquina como son los rodamientos.

El programa Working Model nos permite obtener también las fuerzas que se realizan en cada barra, gracias a esto y a un estudio resistente se podrá llegar a la conclusión de los tamaños los perfiles y del material a utilizar.

La siguiente fase corresponde a la modelización en tres dimensiones (3D) con el programa Inventor Professional de Autodesk, mediante el cual se modelizará el mecanismo, es decir tanto las piezas como el ensamblaje de las mismas, además con dicho programa también somos capaces de realizar los planos, ya que tiene un módulo especializado en ello.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

Para el correcto modelado del conjunto, se calcularán los elementos de unión entre las diferentes barras del mecanismo, así como los elementos de seguridad que se utilizarán para que dichos elementos de unión no causen ningún daño al usuario.

Posteriormente se indicarán los pasos a seguir tanto para la fabricación de la máquina biosaludable como para su montaje, indicando los materiales utilizados, las dimensiones y la tecnología utilizada tanto como para mecanizar como para unir las piezas.

Finalmente se realizarán varios estudios, como son el estudio de seguridad, en el cual se comprobará la seguridad del usuario mientras esté utilizando la máquina biosaludable diseñada y el económico, en el cual se obtendrán de forma aproximada los costes de fabricación como de montaje de la máquina así como el precio de venta de la misma.

Se concluirá el trabajo con un anexo, en el que se incluirán todos los documentos relevantes para el diseño tales como catálogos, y con los planos que definan cada una de las piezas que componen la máquina biosaludable, como un plano del conjunto de la misma.

3. ESTUDIO CINEMÁTICO

3.1. DESCRIPCIÓN DEL MECANISMO

El equipo que se estudiará en el presente trabajo es la bicicleta elíptica, también llamada esquí de fondo, la cual mejora la movilidad y desarrolla la fuerza muscular de los miembros superiores e inferiores, así como la cintura. Además mejora la flexibilidad de las articulaciones, la coordinación y fortalece la función cardiaca y pulmonar. Es utilizada de forma lúdica o deportiva, pero su uso más importante es cuando se usa de forma terapéutica como un elemento de la mecanoterapia. La mecanoterapia es una rama de la cinesiterapia, la cual se define como utilización terapéutica e higiénica de aparatos mecánicos destinados a dirigir y/o provocar movimientos regulados en fuerza, trayectoria y amplitud.



Figura 13. Esquí de fondo o bicicleta elíptica. Fuente: <https://www.urbijuegos.com>

La bicicleta elíptica está diseñada para alcanzar una gran cantidad de movimientos, estos movimientos son repetidos de forma cíclica lo que permite trabajar diferentes grupos de músculos y tendones de manera eficiente.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

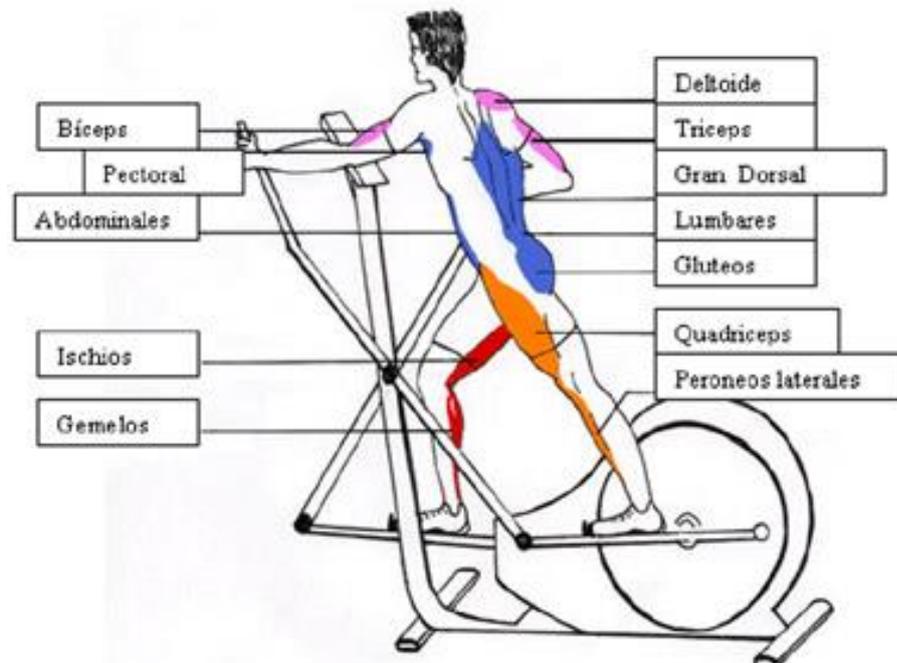


Figura 14. Músculos ejercitados mientras realizas ejercicio con la bicicleta elíptica. Fuente: <http://blog-fitness-house.com/que-parte-del-cuerpo-se-trabaja-con-la-eliptica/>

Consigue trabajar con gran variedad de músculos, como podemos observar en la *Figura 14*, ejercita musculatura tanto del tren superior como del tren inferior, así consigues tonificar las piernas, relajar la musculatura de la espalda evitando dolores y molestias, endurecer y elevar los glúteos y mejorar la cintura. Comparativamente, es tan efectivo trabajar una hora en la elíptica como correr una hora en una cinta de correr, aparte de que al realizar el ejercicio aeróbico agregamos menos peso a las rodillas, caderas y tobillos.

Una de las ventajas que tiene este equipo frente a otros equipos deportivos es que causa bajo impacto en las articulaciones, ya que evita las sacudidas gracias a la forma de movimiento propia de su diseño, lo que permite lograr y mantener un buen estado físico y recuperarte más rápido, aparte de minimizar el riesgo de lesiones, por todo ello es recomendable para quienes sufren problemas en articulaciones o tienen lesiones frecuentemente en ellas. Además este equipo consigue mejorar la debilidad de los músculos, ya que puedes pedalear hacia atrás, permitiendo trabajar la pantorrilla y los músculos isquiotibiales más que con el movimiento hacia adelante. También con el movimiento hacia atrás se mejoran los cuádriceps.

De forma terapéutica, la bicicleta elíptica es un elemento muy importante en el tratamiento de muchas enfermedades. En los pacientes con esclerosis múltiple (EM)

mejora la propiocepción (capacidad de un músculo de adaptación a la situación que se le pida, de una forma equilibrada y fisiológica) junto con la hipotonía (disminución del grado de contracción de los músculos) e hipertonia (rigidez anormal de los músculos) de los músculos del miembro inferior, mejorando así los problemas de la marcha característicos en estos pacientes. Esto además de forma secundaria contribuye a una reducción del riesgo de las caídas y por tanto a una mejora en la calidad de vida, algo fundamental debido a su carácter crónico.

3.2. ESTUDIO DEL NÚMERO DE GRADOS DE LIBERTAD

La bicicleta elíptica se estudiará como un mecanismo plano, centrándonos solo en uno de los brazos de la misma y luego extrapolando las deducciones al otro. Siendo un mecanismo plano aquel en el que la trayectoria de cualquier punto de los elementos que contienen dicho mecanismo, están contenidas en un mismo plano.

El mecanismo se puede modelizar mediante un mecanismo de cuatro eslabones, el cual cumple la ley de Grashof. Dicha ley dice que la barra más corta de un mecanismo de cuatro barras da vueltas enteras respecto a todas las otras si y solo si la suma de las longitudes de barra más corta S y la más larga L es menor o igual que la suma de la longitud de las dos barras restantes. En el enunciado de la ley no interviene el orden en que se conectan las barras ni cuál es la barra fija.

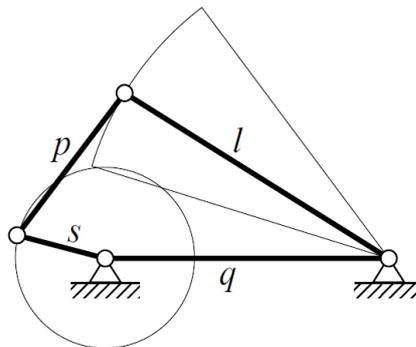


Figura 15. Mecanismo de cuatro barras que cumple la Ley de Grashof. Fuente: CARDONA, S. "Teoría de máquinas"

Si un cuadrilátero articulado cumple la ley de Grashof, la cumple para sus cuatro inversiones, y por lo tanto podemos obtener:

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

- MECANISMO MANIVELA-BALANCÍN: si la bancada es uno de los dos elementos contiguos al más corto. De los dos elementos articulados a tierra el más corto es la manivela (elemento s en la imagen), siendo el otro el balancín (elemento l en la imagen).

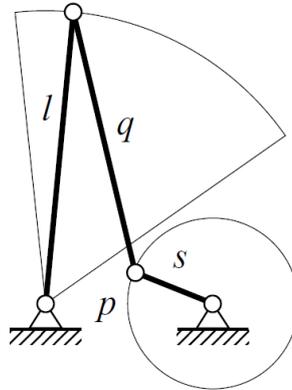


Figura 16. Mecanismo manivela (barra S) – balancín (barra L). Fuente: CARDONA, S. “Teoría de máquinas”

- MECANISMO DE DOBLE MANIVELA: si el elemento más corto es la bancada. Los dos elementos articulados a tierra son las manivelas (elementos p y q en la imagen) ya que dan vueltas enteras.

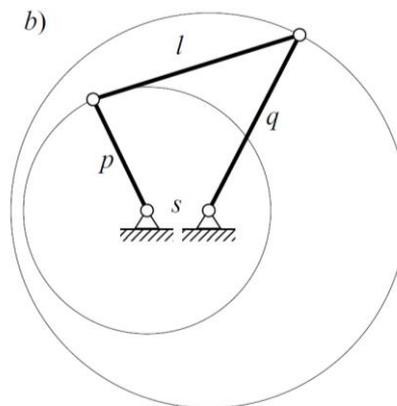


Figura 17. Mecanismo de doble manivela (barras P y L). Fuente: CARDONA, S. “Teoría de máquinas”

- MECANISMO DOBLE BALANCÍN: si la bancada es el elemento opuesto al más corto. Los dos elementos articulados a tierra son los balancines (elementos p y q de la imagen).

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

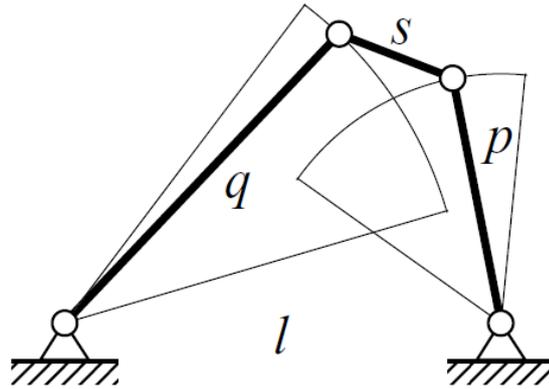


Figura 18. Mecanismo doble balancín (barras Q y P). Fuente: CARDONA, S. "Teoría de máquinas"

La bicicleta elíptica es un mecanismo manivela-balancín, y como podemos observar, se cumple la ley de Grashof ya que de los dos miembros articulados a tierra, S y L, el miembro más corto es la manivela (S) y el otro el balancín (L), las barras serán:

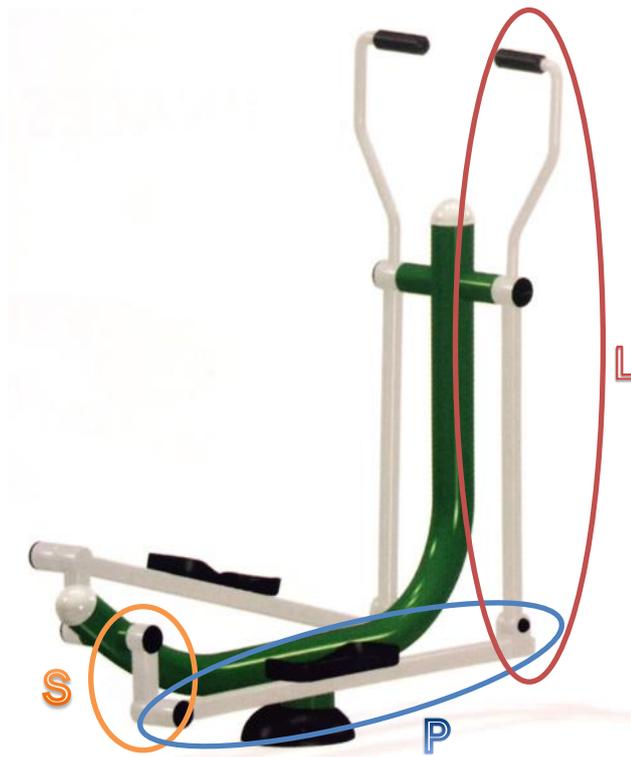


Figura 19. Modelado en barras del mecanismo a estudiar (bicicleta elíptica). Fuente: <http://www.disgal.es> y elaboración propia

Como podemos observar en la *Figura 17*, la primera barra y la más corta, es la manivela ya que da vueltas completas, denominada como S. La segunda barra es la denominada como P es la biela ya que transforma el movimiento rotativo de la manivela en un movimiento de traslación, la tercera barra es el balancín ya que no da vueltas completas, sino una sección de vuelta, denominado como L, finalmente, la bancada es considerada como la cuarta barra, por lo que tenemos un mecanismo de cuatro barras.

Dicho mecanismo de cuatro barras lo estudiaremos mediante Working Model:

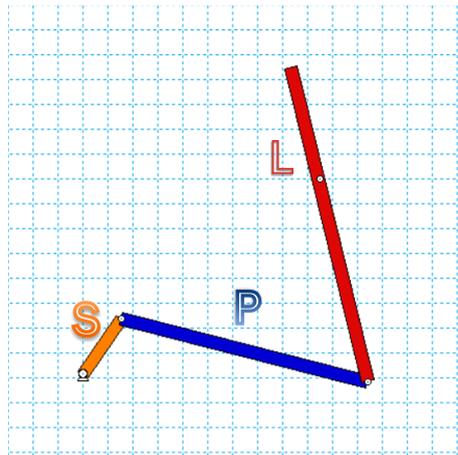


Figura 20. Esquema de bicicleta elíptica en Working Model. Fuente: Elaboración propia.

Inicialmente comenzaremos estudiando el número de grados de libertad del mecanismo, definiéndose estos como el número de parámetros independientes que se necesitan para definir su posición en el espacio. Para determinarlo, utilizaremos el criterio de Grübler-Kutzbach, el cual consiste en contar todos los grados de libertad de los eslabones sin enlaces, es decir, tres por cada eslabón, ya que estamos en movimiento plano y posteriormente restar las restricciones cinemáticas impuestas por cada uno de los enlaces. Para ello necesitamos saber los pares de cada uno de los enlaces y por lo tanto cómo restringen esos enlaces el movimiento de los eslabones.

Los pares se clasifican según el tipo de contacto entre los miembros y pueden ser inferiores si el contacto es superficial, o superiores si el contacto es a través de un único punto o de una generatriz. Dentro de los pares inferiores, existen:

- PARES DE REVOLUCIÓN (pares R) los cuales solo permiten la rotación relativa alrededor de un eje común, permitiendo así solamente un grado de libertad.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

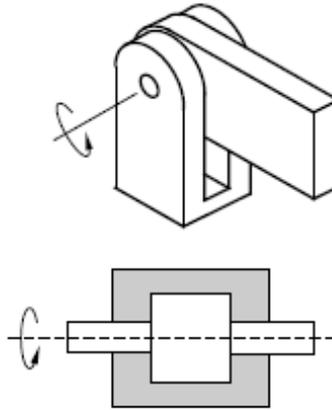


Figura 21. Par de revolución (par R). Fuente: CARDONA, S. "Teoría de máquinas"

- PARES CILÍNDRICOS (pares C) los cuales permiten la rotación y la traslación a través de un eje común, permitiendo así dos grados de libertad.

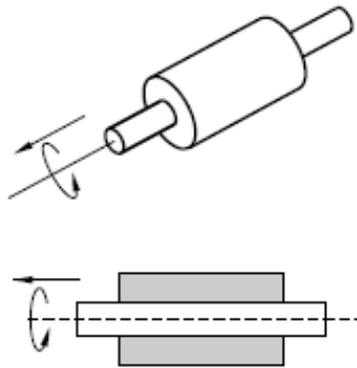


Figura 22. Par cilíndrico (par C). Fuente: CARDONA, S. "Teoría de máquinas"

- PARES PRISMÁTICOS (pares P) los cuales permiten una traslación relativa respecto de un eje común, permitiendo así solamente un grado de libertad.

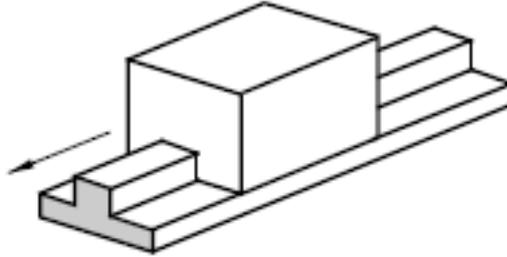


Figura 23. Par prismático (par P). Fuente: CARDONA, S. "Teoría de máquinas"

- PARES HELICOIDALES (pares H) los cuales permiten un movimiento de traslación y otro de rotación relacionados linealmente, permitiendo así solamente un grado de libertad.

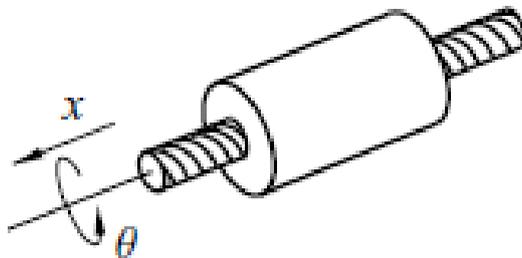


Figura 24. Par helicoidal (par H). Fuente: CARDONA, S. "Teoría de máquinas"

- PARES ESFÉRICOS (pares S) los cuales permiten una rotación entorno a cualquier eje manteniendo un punto común entre los elementos, permitiendo así tres grados de libertad.

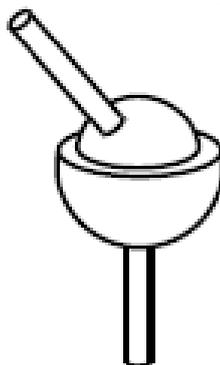


Figura 25. Par esférico (par S). Fuente: CARDONA, S. "Teoría de máquinas"

- PARES PLANOS (par PL) los cuales permiten dos traslaciones y una rotación respecto de un eje perpendicular al del plano de contacto de los elementos, permitiendo así tres grados de libertad.

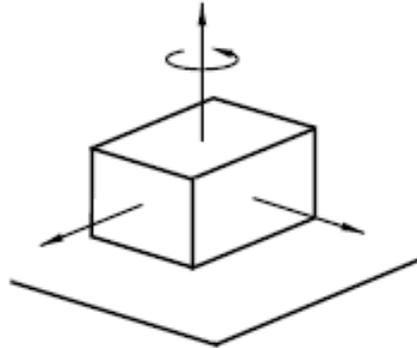


Figura 26. Par plano (par PL). Fuente: CARDONA, S. "Teoría de máquinas"

En nuestro mecanismo, tenemos cuatro enlaces rotativos, los cuales son: el enlace bancada-S el cual llamaremos R_{b-s} , el enlace S-P que denominaremos R_{s-p} , el enlace P-L que llamaremos R_{p-l} , y finalmente el enlace L-bancada al que llamaremos R_{l-b} .

El número de grados de libertad según el criterio de Grübler-Kutzbach para mecanismos planos es el siguiente:

$$G = 3 \cdot (n - 1) - 2 \cdot R_i - 1 \cdot P_i$$

Siendo:

- G el número de grados de libertad.
- n el número de miembros o eslabones.
- R_i el número de pares que permiten un grado de libertad, es decir, restringen dos movimientos en el movimiento plano.
- P_i el número de pares que permiten dos grados de libertad, es decir, restringen un movimiento en el movimiento plano.

En nuestro caso, tenemos cuatro eslabones, las tres barras y la bancada, y cuatro enlaces rotativos, los cuales permiten un grado de libertad, es decir, permiten la rotación e impiden los dos posibles movimientos de traslación en el plano, por lo tanto tenemos un grado de libertad.

$$G = 3 \cdot (4 - 1) - 2 \cdot 4 = 1$$

3.3. DESCRIPCIÓN DE LAS MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS.

Para realizar un diseño hay que tener en cuenta la ergonomía, concibiendo esta como la disciplina científico-técnica cuyo objetivo es “conseguir la interacción adecuada y armónica entre el ser humano y el conjunto de factores que están presentes en el desarrollo de cualquier actividad en que esta persona esté involucrada”. (Carmona, A. (2.003), Aspectos antropométricos de la población laboral española aplicados al diseño industrial.) Es decir, es el estudio de las condiciones de adaptación de un lugar de trabajo, una máquina etc., a las características físicas y psicológicas del trabajador o el usuario.

Para considerar esta disciplina, utilizaremos el estudio realizado en 2003 por Antonio Carmona Benjumea, miembro del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), el cual refleja en el libro “Aspectos antropométricos de la población laboral española aplicados al diseño industrial”.

El estudio se realizó en 2003, la muestra fue de 1.723 personas las cuales 593 son mujeres y 1.130 hombres, es decir el 34,4% y el 65,6% respectivamente. Para tener una homogeneidad adecuada respecto de la población, se tomaron medidas de personas entre 16 a 65 años.

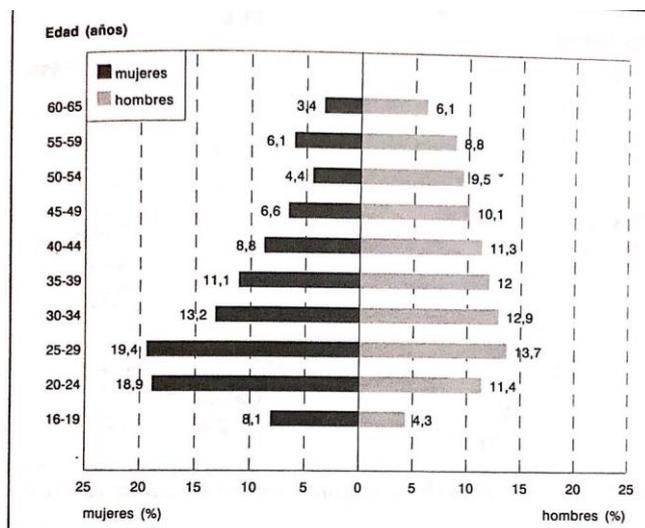


Figura 27 Distribución de la muestra por sexo y edad (%). Fuente: Carmona, A. “Aspectos antropométricos de la población laboral española aplicados al diseño industrial”.

Para que la muestra sea lo más homogénea posible también se tomaron medidas a personas con diferentes lugares de nacimiento:

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

Capital	Distribución de la muestra		
	Mujeres	Hombres	Total
Castellón	46 — 7,75 %	82 — 7,25 %	128 — 7,4 %
León	48 — 8,09 %	96 — 8,50 %	144 — 8,4 %
Madrid	104 — 17,53 %	176 — 15,57 %	280 — 16,3 %
Murcia	120 — 20,23 %	188 — 16,65 %	308 — 17,9 %
Oviedo	70 — 11,80 %	127 — 11,23 %	197 — 11,4 %
Sta.Cruz de Tenerife	51 — 8,60 %	99 — 8,76 %	150 — 8,7 %
Sevilla	87 — 14,67 %	212 — 18,76 %	299 — 17,3 %
Zaragoza	67 — 11,29 %	150 — 13,27 %	217 — 12,6 %
Totales	593 — 100,00 %	1130 — 100,00 %	1723 — 100,0 %

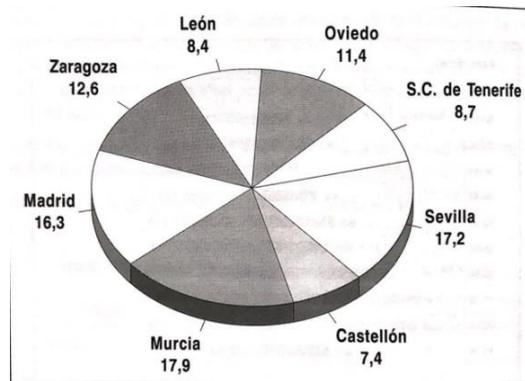


Figura 28. Distribución de la muestra por lugares de nacimiento. Carmona, A. "Aspectos antropométricos de la población laboral española aplicados al diseño industrial".

Este estudio se realiza siguiendo la norma ISO 7250:1996 y sus equivalentes EN ISO 7250:1997 / UNE EN ISO 7250:1998 "Medidas fundamentales del cuerpo para el diseño tecnológico".

Las medidas que se utilizarán en el presente trabajo son:

- ALTURA
- ALTURA DE LA ESPINA ILÍACA, DE PIE
- ALTURA DEL MUSLO SENTADO
- ALCANCE MÁXIMO HORIZONTAL (PUÑO CERRADO)
- LONGITUD CODO-PUÑO
- ANCHURA DEL PIE
- LONGITUD DEL PIE
- ANCHURA DE HOMBROS (BIACROMIAL)

Sin embargo, tenemos que escoger un percentil de la población a considerar. Optaremos por un percentil 95 de la población conjunta de hombres y mujeres, obteniendo así unos resultados válidos para la gran mayoría de la población española. Siendo el percentil una

medida de posición que muestra, una vez ordenados los datos de menor a mayor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de observaciones.

3.4. PRUEBAS CON WORKING MODEL.

Utilizaremos Working Model para realizar el estudio cinemático del mecanismo. Para ello primero debemos definir, el paso máximo que queremos realizar y el desplazamiento horizontal máximo que queremos que realicen los brazos.

El paso máximo medio está entorno a 60 cm en mujeres y entorno a 65 cm en hombres, como no queremos que las personas fuercen, ya que podría suponer un riesgo de lesiones, tomaremos como paso máximo a realizar en nuestro mecanismo de entre 50 y 55 cm.

El desplazamiento horizontal máximo de los brazos estará entre que el brazo esté totalmente estirado, hasta que el puño se encuentre a la altura del codo del brazo estirado. Es decir, será la longitud de la medida codo-puño, teniendo en cuenta el percentil 95 del conjunto entre hombres y mujeres del estudio antropométrico esta medida es 0,376 m.

Tras la realización de varias pruebas en Working Model para obtener este rango de resultados, se ha llegado a la conclusión de las siguientes medidas para el mecanismo:

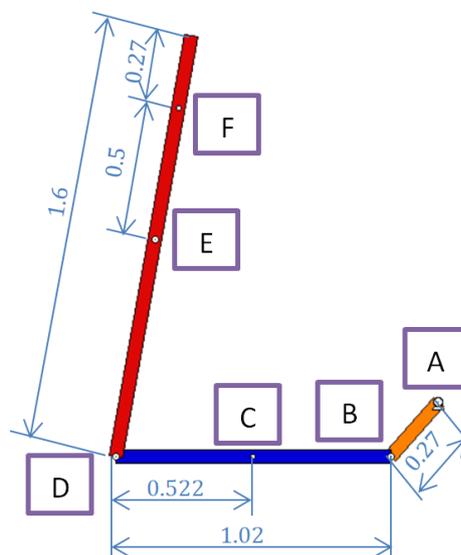


Figura 29. Representación del mecanismo en Working Model (medidas en metros). Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

Para poder referirnos a los puntos importantes del mecanismo más adelante, se les ha nombrado en la *Figura 29*. Siendo el punto A el enlace rotativo bancada-barra S, el punto B el enlace rotativo barra S-barra P, el punto C el punto donde se apoyará el pie, el punto D el enlace rotativo barra P-barra L, el punto E el enlace rotativo barra L-bancada y el punto F el punto en el que se sujeta la mano a la barra L.

Una vez que tenemos el mecanismo con todas sus medidas, se puede comprobar que cumple la ley de Grashof, teniendo en cuenta que la longitud de las barras es:



Figura 30. Barras que hay en el mecanismo y sus medidas. Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que la barra de bancada es la que une los dos puntos que se articulan al suelo, además la barra balancín es la que une la articulación de dicha barra y la bancada y la articulación barra L barra P, por lo tanto mide 0,83 m.

Como podemos observar, la barra más larga es la bancada (1,21 m) y la más corta la manivela (0,27 m). Por lo tanto:

$$\text{Barra } S + \text{Barra } B \leq \text{Barra } P + \text{Barra } L$$

$$0,27 + 1,21 \leq 1,02 + 0,83$$

$$1,48 \leq 1,85$$

Comprobamos así que se cumple la Ley de Grashof y que por lo tanto, la barra más corta (S) da vueltas completas por lo que es denominada manivela. Además al ser la bancada uno de los elementos que están unidos a la barra más corta, contamos con un mecanismo manivela-balancín, siendo la manivela la barra S y el balancín la barra L.

Simulando en Working Model el mecanismo con las medidas dichas anteriormente, obtenemos estos resultados:

POSICIÓN DEL PIE (manivela 0,27m)			
x mínimo (m)	1,302	y mínimo (m)	0,846
x máximo (m)	1,842	y máximo (m)	1,125
desplazamiento x (m)	0,54	desplazamiento y (m)	0,279

Tabla 1. Resultados posición del pie (medidas en metros). Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en la *Tabla 1* el paso máximo que obtenemos es de 54 cm por lo que estamos dentro del rango (50-55 cm) que habíamos establecido. Sin embargo, durante las pruebas se ha observado que modificando la longitud de la manivela (barra S) conseguimos modificar la magnitud del paso máximo, así si se aumenta la longitud de dicha barra el paso máximo es mayor y viceversa. Como el diseño de este mecanismo está pensado para que sea utilizado por cualquier rango de edad, se tendrá en cuenta este hecho y el diseño contará con opciones para que la longitud de la barra S pueda ser cambiada dependiendo de las necesidades del usuario. Debido a esto realizaremos varias pruebas para proponer dos longitudes de manivela que permitan obtener tres pasos máximos diferentes y adecuados para cualquier edad.

POSICIÓN MANOS (distancia F-G 0.5m)			
x mínimo (m)	0.832	y mínimo (m)	2.161
x máximo (m)	1.161	y máximo (m)	2.2
desplazamiento x (m)	0.329	desplazamiento y (m)	0.039

Tabla 2. Resultados de la posición de las manos (medidas en metros). Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al desplazamiento horizontal máximo de las manos que obtenemos es de 0,329 m, menor que el percentil 95 de la distancia codo-puño que son 0,376 m. No obstante, este desplazamiento cambia si se modifica la posición de las manos en la barra L, siendo mayor el desplazamiento cuanto más alejadas estén las manos del punto E (enlace rotativo barra L-bancada). El diseño del mecanismo también tendrá en cuenta este hecho y el mecanismo contará con opciones para subir o bajar las manos en función de las necesidades del usuario. Debido a esto realizaremos varias pruebas para proponer tres posiciones de la mano que permitan obtener tres desplazamientos horizontales máximos de las manos diferentes y adecuados para cualquier edad.

Con todos los resultados obtenidos en la simulación, podemos reproducir el movimiento que realizan los puntos más significativos de nuestro mecanismo. Se han simulado varias situaciones de la posición de las manos, y varias longitudes de la manivela. Al realizar las

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

simulaciones variando la longitud de la manivela, se observó que se veía afectado el desplazamiento horizontal máximo de las manos, por lo que se realizarán simulaciones por separado, por una parte modificaremos la longitud de la manivela, y por otro se modificará la distancia del punto E (enlace rotativo barra L-bancada) y la posición de las manos.

Con las medidas iniciales, 0,27m de longitud de la manivela y 0,50m de distancia entre los puntos E-F, obtenemos el siguiente gráfico:

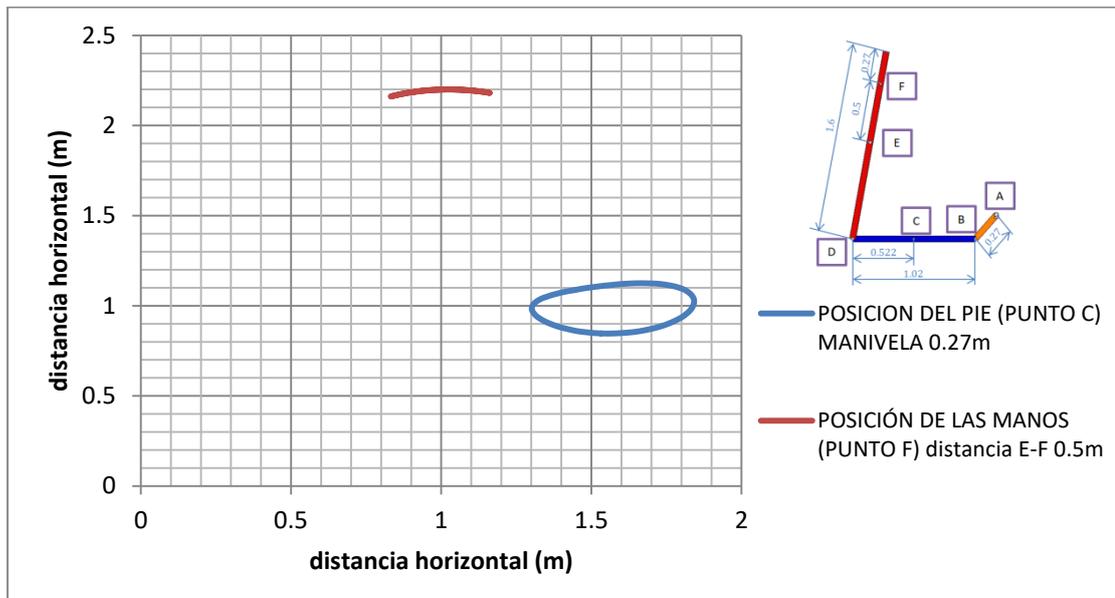


Figura 31. Gráfica de la trayectoria de los puntos C y F. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la *Figura 31* el movimiento es cíclico, el periodo de repetición depende de la fuerza que se haga sobre los estribos y por lo tanto de la velocidad de revolución de la manivela.

Comenzamos modificando la longitud de la manivela, como necesitamos unos pasos máximos menores de los que tenemos, hay que disminuir la longitud de la manivela. Para que sin modificar ninguna medida más que la manivela, la barra P (biela) siga pudiendo pasar por la posición horizontal, la medida de la barra S (manivela) mínima es de 0,22 m. Obteniendo un paso máximo de 0,44m.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

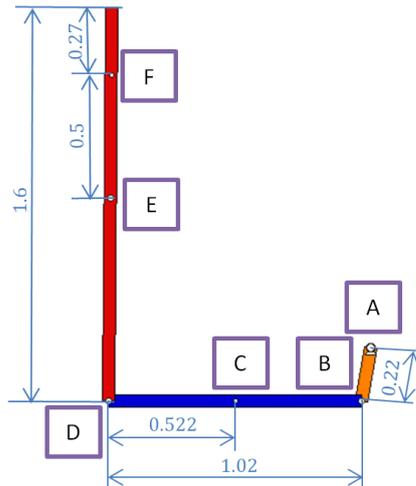


Figura 32. Representación del mecanismo en Working Model con la manivela 0,22 m (medidas en metros). Fuente: Elaboración propia.

Comprobando que cumple la ley de Grashof:

$$\text{Barra } S + \text{Barra } B \leq \text{Barra } P + \text{Barra } L$$

$$0,22 + 1,21 \leq 1,02 + 0,83$$

$$1,43 \leq 1,85$$

Según Payne V.G. e Isaacs M.D., se observa que a los 7 años, la longitud del paso es de unos 47,9 cm, por lo que nuestro diseño tendrá en cuenta esta premisa para que pueda ser utilizado por personas con una edad mínima de uso de 7 años de edad.

POSICIÓN DEL PIE (manivela 0,22m)			
x mínimo (m)	1,353	y mínimo (m)	0,871
x máximo (m)	1,794	y máximo (m)	1,097
desplazamiento x (m)	0,441	desplazamiento y (m)	0,226

Tabla 3. Resultados de la posición del pie medidas en metros. Longitud manivela 0,22m. Fuente: Elaboración propia.

POSICIÓN MANOS (manivela 0,22m, E-F 0,5m)			
x mínimo (m)	0,861	y mínimo (m)	2,172
x máximo (m)	1,129	y máximo (m)	2,2
desplazamiento x (m)	0,268	desplazamiento y (m)	0,028

Tabla 4. Resultados de la posición de las manos medidas en metros. Longitud manivela 0,22m. Distancia E-F 0,5m. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en las *Tabla 3 y Tabla 4* al reducir la manivela, hemos conseguido reducir la longitud del paso máximo, que ahora es de 0,441 m y también se ve afectado el desplazamiento horizontal de las manos ya que se reduce a 0,268 m. Esta consecuencia, es positiva ya que si queremos reducir el paso, es debido a que la persona que va a utilizar el mecanismo tiene las extremidades inferiores más pequeñas y por consiguiente, las extremidades superiores también serán más pequeñas.

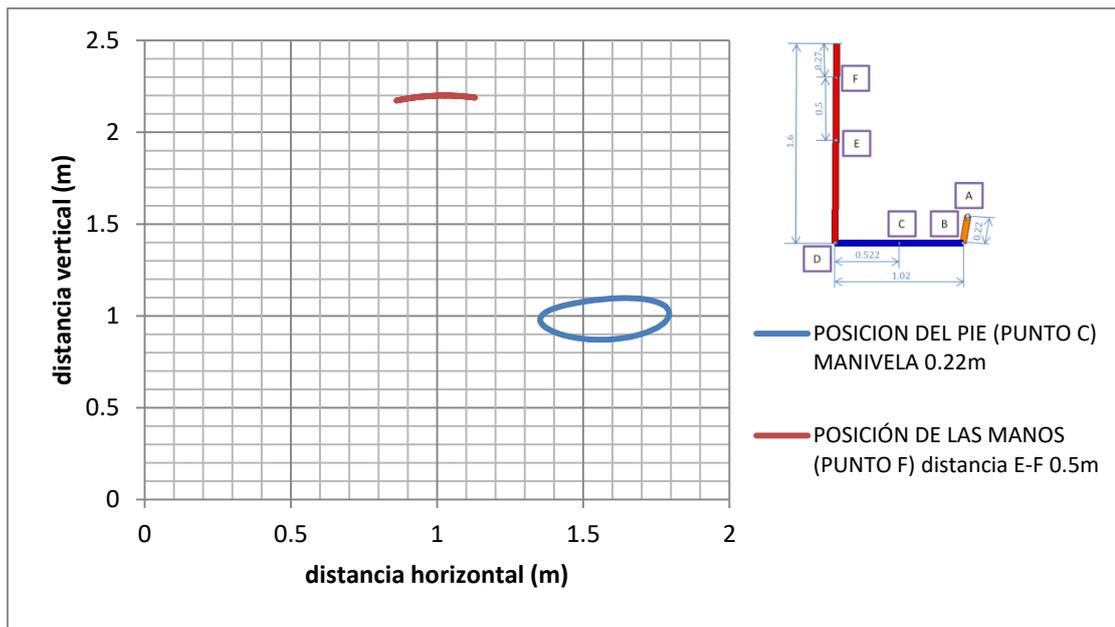


Figura 33. Gráfica de la trayectoria de los puntos C y F una vez modificada la longitud de la manivela a 0,22 m. Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la trayectoria de las dos opciones de longitud de manivela:

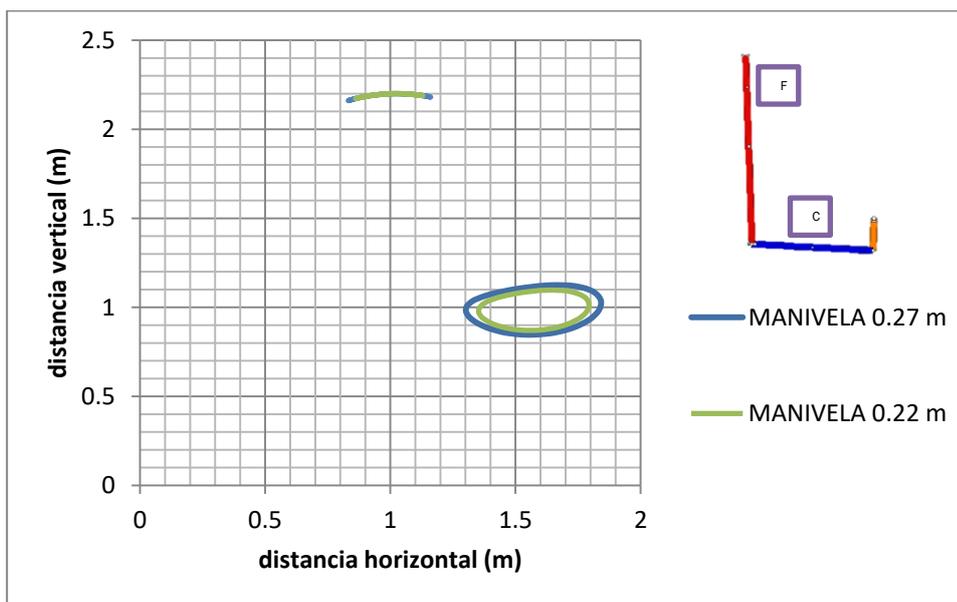


Figura 34. Gráfica comparativa de las trayectorias de los puntos C y F dependiendo de la longitud de la manivela. Fuente: Elaboración propia.

Como observamos en la Figura 34 a medida que reducimos la longitud de la manivela, disminuye el paso máximo que conseguimos. Además como consecuencia de reducir la longitud de la manivela, se reduce mínimamente el desplazamiento horizontal de las manos, como esta no es una reducción importante, para que este desplazamiento se reduzca necesitamos disminuir la distancia entre los puntos E y F, y acercar el punto de agarre de las manos a la barra L (punto F) al par rotativo que une la barra L y la bancada (punto E). Para ello, haremos varias pruebas para observar cual es la relación entre la disminución de dicha distancia con la disminución del desplazamiento.

Posteriormente, procedemos a realizar ensayos modificando la distancia entre los puntos E (par rotativo barra L-bancada) y F (punto donde se sitúan las manos). Se realizarán varias pruebas para conseguir varios desplazamientos horizontales de las manos, haciendo así que nuestro diseño pueda ser usado por un rango de edad muy amplio.

Queremos conseguir que niños entre 5 y 10 años ya puedan utilizar nuestro diseño. Utilizaremos las diferentes medidas recogidas en un estudio antropométrico realizado a niños y niñas entre 5 y 10 años en Bogotá, como queremos que los niños más pequeños puedan utilizarlo, cogeremos el percentil 5 para elegir el mínimo desplazamiento horizontal de las manos, como describimos anteriormente, este desplazamiento es la medida codo puño, medida que se asemeja a la diferencia entre el alcance vertical máximo y la altura. Para el percentil 5, la altura es de 101,6 mm y el

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

alcance vertical máximo es de 124,5 mm por lo que la diferencia es de 22,9 mm. Modificaremos la distancia E-F hasta que el desplazamiento horizontal sea menor de 22,9 mm.

Como al modificar la longitud de la manivela, también modificamos el desplazamiento horizontal de las manos, realizaremos ensayos para cada longitud de manivela.

Comenzaremos simulando con la manivela que habíamos decidido originalmente, que mide 0,27 m, reduciremos la distancia E-F en 5 cm cada prueba y mediremos el desplazamiento horizontal hasta que observemos que es menor de 0,229 m.

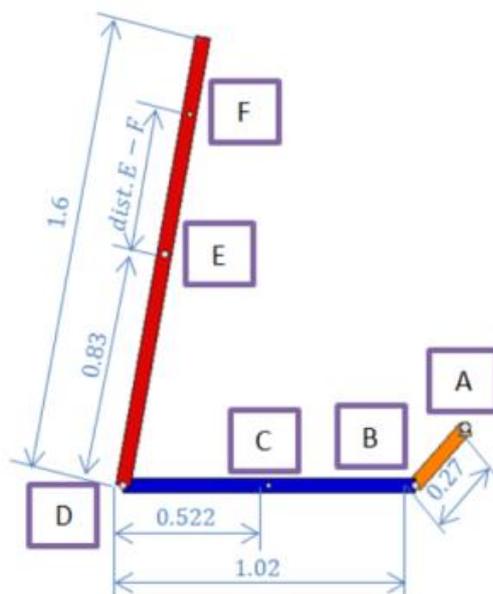


Figura 35. Representación del mecanismo en Working Model con la manivela 0,27 m, mostrando la distancia E-F que se modificará posteriormente. (Medidas en metros). Fuente: Elaboración propia.

En las pruebas comprobamos que la trayectoria del punto C (la posición del pie) no se ve afectada por las modificaciones en la distancia E-F, por lo que solo se mostrarán las tablas de la posición de las manos. A continuación se muestran las tablas con los resultados de las distintas pruebas:

POSICIÓN MANOS (manivela 0,27 m dist. E-F 0,45 m)			
x mínimo (m)	0,852	y mínimo (m)	2,115
x máximo (m)	1,147	y máximo (m)	2,15
desplazamiento x (m)	0,295	desplazamiento y (m)	0,035

Tabla 5. Resultados de la posición de las manos medidas en metros. Longitud de la manivela 0,27 m. Distancia E-F 0,45 m. Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

POSICIÓN MANOS (manivela 0,27 m dist. E-F 0,40 m)			
x mínimo (m)	0,871	y mínimo (m)	2,069
x máximo (m)	1,133	y máximo (m)	2,1
desplazamiento x (m)	0,262	desplazamiento y (m)	0,031

Tabla 6. Resultados de la posición de las manos medidas en metros. Longitud de la manivela 0,27 m. Distancia E-F 0,40 m. Fuente: Elaboración propia.

POSICIÓN MANOS (manivela 0,27 m dist. E-F 0,35 m)			
x mínimo (m)	0,89	y mínimo (m)	2,023
x máximo (m)	1,12	y máximo (m)	2,05
desplazamiento x (m)	0,23	desplazamiento y (m)	0,027

Tabla 7. Resultados de la posición de las manos medidas en metros. Longitud de la manivela 0,27 m. Distancia E-F 0,35 m. Fuente: Elaboración propia.

POSICIÓN MANOS (manivela 0,27 m dist. E-F 0,30 m)			
x mínimo (m)	0,909	y mínimo (m)	1,977
x máximo (m)	1,106	y máximo (m)	2
desplazamiento x	0,197	desplazamiento y	0,023

Tabla 8. Resultados de la posición de las manos medidas en metros. Longitud de la manivela 0,27 m. Distancia E-F 0,30 m. Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en las *Tabla 5*, *Tabla 6*, *Tabla 7* y *Tabla 8* el desplazamiento horizontal máximo es menor cuando reducimos la distancia entre los puntos E y F, cuando dicha distancia es 0,30 m conseguimos un desplazamiento horizontal máximo de 0,197 m y por lo tanto obtenemos un desplazamiento menor a 0,229 m. Por lo que en nuestro diseño, la distancia entre los puntos E-F en un principio podrá oscilar entre 0,50 m y 0,30 m cada 0,05 m, pero comprobaremos que estas medidas son adecuadas también cuando se modifica la longitud de la manivela.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

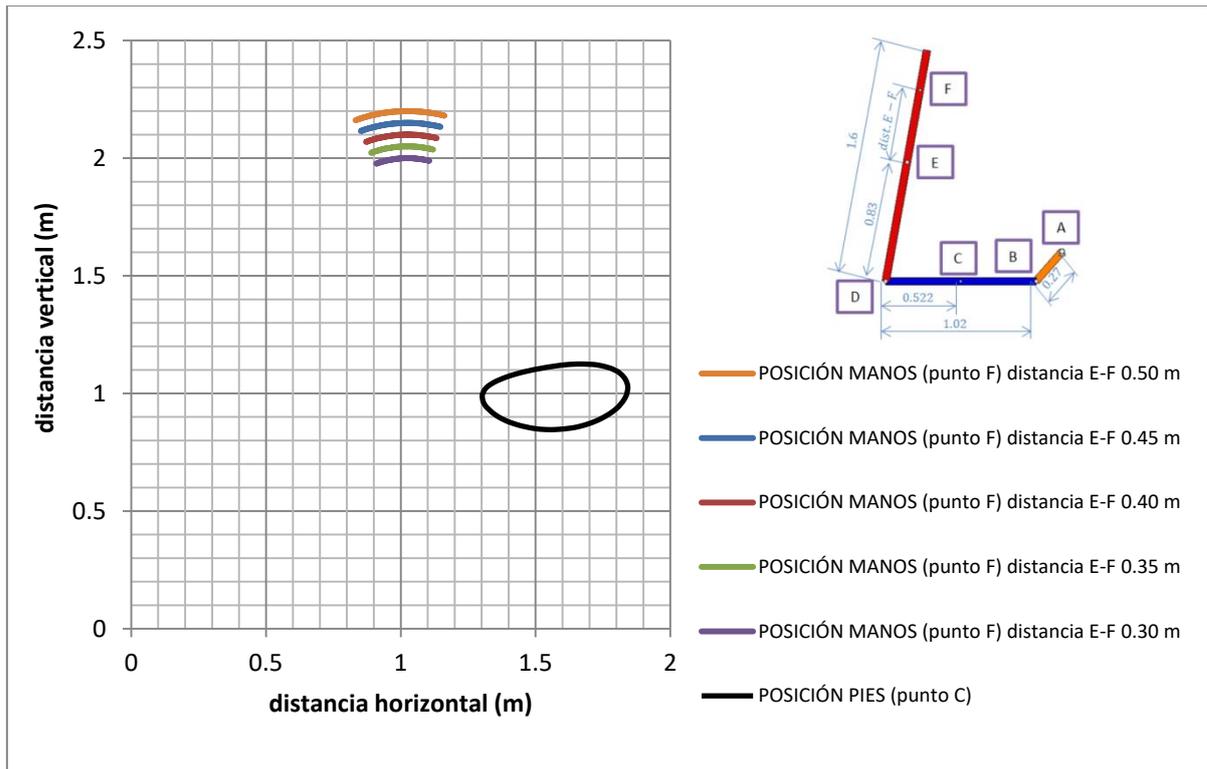


Figura 36. Trayectoria de los puntos F y C. Longitud de manivela 0,27 m y modificando la distancia E-F. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 36 podemos comparar las diferentes trayectorias del punto F dependiendo de la distancia entre los puntos E-F. Como se puede comprobar la trayectoria del punto C (posición de los pies) es la misma aunque cambiemos la distancia entre los puntos E-F.

Finalmente realizaremos los ensayos para la longitud mínima de la manivela, 0,22m.

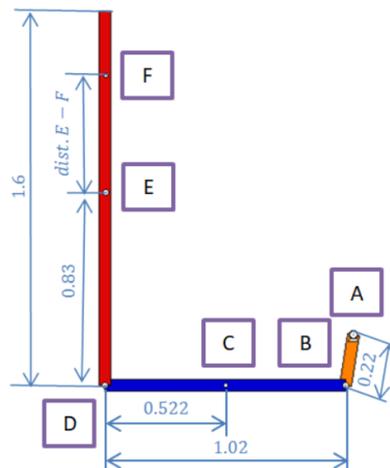


Figura 37. Representación del mecanismo en Working Model con la manivela 0.22 m, mostrando la distancia E-F que se modificará posteriormente. (Medidas en metros). Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

A continuación se muestran las tablas que exponen los resultados obtenidos en la realización de los ensayos que consisten en reducir la distancia E-F con la longitud de manivela constante en 0,22 m, realizaremos los ensayos con la distancia E-F entre 0,50m y 0,30m y observaremos si cumple que el desplazamiento horizontal máximo es menor de 0,229 m.

POSICIÓN MANOS (manivela 0,22m dist. E-F 0,45m)			
x mínimo (m)	0,877	y mínimo (m)	2,125
x máximo (m)	1,118	y máximo (m)	2,15
desplazamiento x (m)	0,241	desplazamiento y (m)	0,025

Tabla 9. Resultados de la posición de las manos medidas en metros. Longitud de la manivela 0,22 m. Distancia E-F 0,45m. Fuente: Elaboración propia.

POSICIÓN MANOS (manivela 0,22m dist. E-F 0,40m)			
x mínimo (m)	0,894	y mínimo (m)	2,078
x máximo (m)	1,108	y máximo (m)	2,1
desplazamiento x (m)	0,214	desplazamiento y (m)	0,022

Tabla 10. Resultados de la posición de las manos medidas en metros. Longitud de la manivela 0,22 m. Distancia E-F 0,40m. Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en la *Tabla 10*, con una distancia entre los puntos E-F de 0,40m obtenemos un desplazamiento horizontal máximo de 0,214 m, menor a los 0,229 m. Como las personas que necesiten utilizar el desplazamiento horizontal mínimo necesitarán tener el paso mínimo también, pondrán la manivela con una longitud de 0,22m, por lo tanto con esa longitud, solo necesitamos reducir la distancia E-F a 0,40m y por lo tanto tendríamos tres opciones de distancia E-F : 0,50m, 0,45m y 0,40m. Sin embargo, para evitar cualquier circunstancia, pondremos cuatro opciones, y nuestro diseño tendrá también la opción de que la distancia E-F sea 0,35 m.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

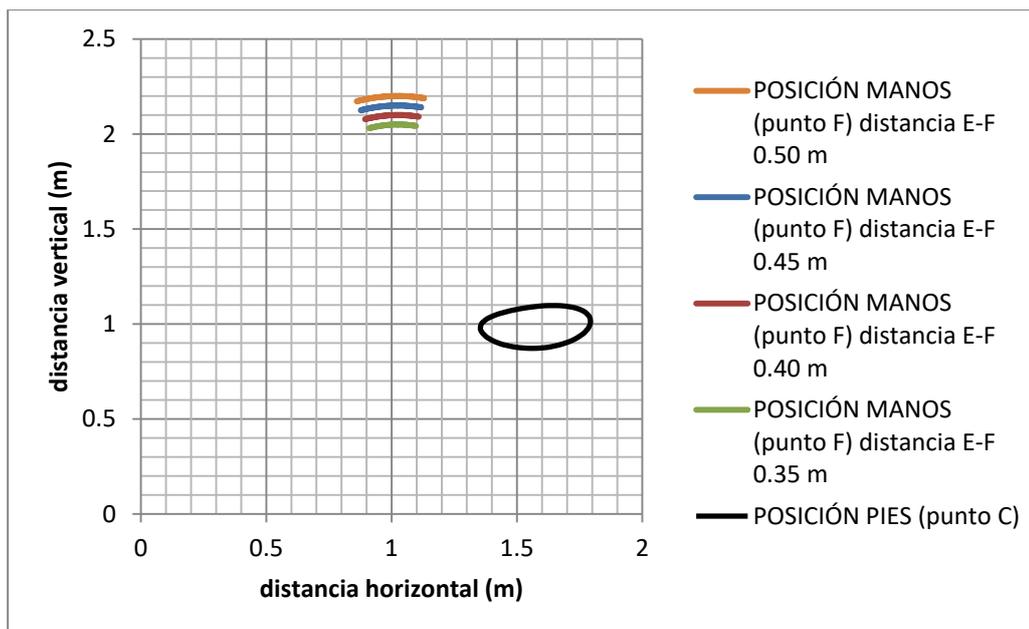


Figura 38. Trayectoria de los puntos F y C. Longitud de manivela 0,22 m y modificando la distancia E-F. Fuente: Elaboración propia.

Para que una persona pueda utilizar nuestro diseño, su distancia pies-hombros debe de ser mínimo la distancia entre los puntos D-F, que corresponde a $(0,83\text{m} + \text{distancia E-F})$, la mínima distancia entre los puntos D-F mínima será $0,83 + 0,35 = 1,18\text{m}$. Del estudio realizado en Colombia en 2.001, con niños y niñas entre 5 y 10 años, podemos extrapolar la longitud hombros-final de la cabeza, que es la diferencia entre la estatura y la distancia suelo-hombros, utilizando el percentil 5 la estatura es de 1,016 m y la distancia suelo-hombros es de 0,80 m por lo que la distancia hombros-final de la cabeza es de 0.216 m. Si utilizamos el percentil 95 la estatura es de 1,068 m y la distancia suelo-hombros es de 0.849 m por lo que la distancia hombros-final de la cabeza es de 0,219 m. Como vemos no hay mucha diferencia en esta distancia en escoger el percentil 5 o el 95. Por lo tanto, la altura mínima para el uso de nuestro diseño será de la distancia mínima entre los puntos D-F (1,18m) más la distancia hombros-cabeza que estimaremos en 0.21m, por lo que la estatura mínima será 1.39m, que aproximaremos por 1,40m.

Según el Estudio Transversal Español del Crecimiento 2.010, tanto para niños como para niñas, esa estatura corresponde, escogiendo un percentil 50, a una edad de 10 años, por lo que la edad mínima de utilización de nuestro diseño, en cuanto a altura, será de 10 años.

Como en cuanto a altura la edad mínima para la utilización de nuestro diseño es de 10 años y en cuanto a longitud de paso, la edad mínima es de 7 años. Finalmente, nuestro diseño tendrá una edad mínima de 10 años, para que cumpla los requerimientos tanto para altura como para longitud de paso.

3.5. CÁLCULO DE LA SECCIÓN Y ELECCIÓN DEL MATERIAL Y EL PERFIL DE LAS BARRAS.

3.5.1. CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE LAS BARRAS.

Para poder calcular la fuerza que deben soportar los pares rotativos que unen las diferentes barras, necesitamos saber el peso de dichas barras. Para ello necesitamos concretar el material, la forma y los grosores de dichas barras.

Primero calcularemos la sección de las barras, para ello, consideraremos que la barra es una barra biapoyada la cual soporta las fuerzas que se producen en los pares y el peso de la barra. Consideraremos que el peso de la barra es despreciable con respecto a las fuerzas que se realizan sobre ella. Se escoge la condición más desfavorable, como vamos a poner una restricción al desplazamiento máximo, el punto más desfavorable de aplicación de la fuerza, al estar biapoyada, sería el punto medio, es decir, sea L la longitud de la barra, la fuerza se situará a una distancia $L/2$ de cada apoyo, tal y como muestra la siguiente figura.

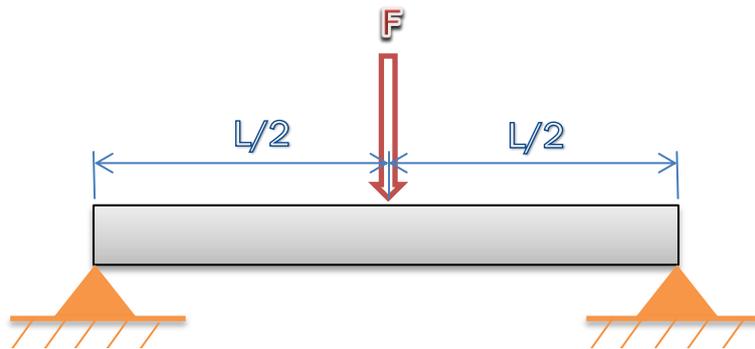


Figura 39. Esquema de una barra biapoyada con una fuerza aplicada en su punto medio.
Fuente: Elaboración propia.

En cada una de las secciones virtuales en las que dividimos la barra, también llamadas “rebanadas”, los esfuerzos se representan mediante pares de fuerzas que deben de estar en equilibrio. Existen tres posibles esfuerzos:

- Esfuerzos cortantes: provocan la cizalladura entre ambas caras de la sección, deslizando una con respecto a la otra pero manteniéndose paralelas (se representa con la letra V).

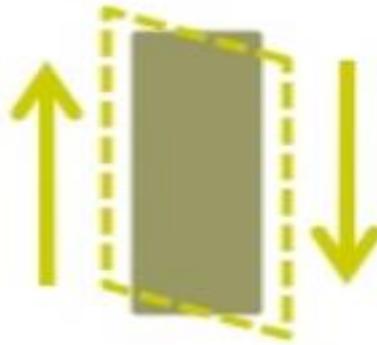


Figura 40. Diagrama del esfuerzo cortante sobre una sección, con el criterio de signos positivo. Fuente: <https://es.slideshare.net/maribelcastilla/bloque-a-teora-de-representacin-de-diagramas-de-esfuerzos-mecnica-de-slidos-grupo-4-1213>

- Esfuerzos axiales: provocan que ambas caras de la sección se separen entre sí, manteniéndose paralelas. (se representa con la letra N)



Figura 41. Diagrama del esfuerzo axial sobre una sección, con el criterio de signos positivo. Fuente: <https://es.slideshare.net/maribelcastilla/bloque-a-teora-de-representacin-de-diagramas-de-esfuerzos-mecnica-de-slidos-grupo-4-1213>

- Momentos flectores: provocan un giro en las caras de la sección, de manera que dejan de ser paralelas, un extremo de la sección se acorta y otro se alarga.



Figura 42. Diagrama del momento flector sobre una sección, con el criterio de signos positivo. Fuente:

Para comenzar, simulamos en Working Model nuestro modelo, y medimos las fuerzas que se realizan en los pares. Observamos cuál es la fuerza máxima y qué componentes horizontal y vertical tienen.

Para simularlo, supondremos que la manivela gira cuatro vueltas cada veinticinco segundos, es decir, a 2 rad/s. Insertaremos una fuerza en el punto C de apoyo del pie, que es donde se ejercerá la fuerza del peso, supondremos que podrán utilizar el mecanismo cualquier persona, por lo que supondremos una fuerza debida a 150kg, como estamos simulando medio mecanismo, diseñaremos para que nuestro diseño pueda soportar 300kg. Por lo tanto la fuerza que introduciremos será de $150 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1.470 \text{ N}$.

Simularemos nuestro diseño con una manivela de 0,27m ya que las fuerzas obtenidas son mayores que con 0,22 m y por lo tanto la condición es la más desfavorable.

Siempre que se diseña hay que tener en cuenta un coeficiente de seguridad, que es el cociente entre la capacidad máxima teórica del diseño y el valor real de la exigencia a la que se verá sometido, el coeficiente es mayor que uno e indica la capacidad en exceso al que se sobredimensiona por encima de la exigencia que se le solicitará. En este caso tomaremos un coeficiente de seguridad de 1,5. Por lo que simularemos con una fuerza de $1.470 \text{ N} \cdot 1,5 = 2205 \text{ N}$. Obteniendo los siguientes resultados en los puntos B y D:

PUNTO B (manivela 0,27 m)	
máxima fuerza (N)	1298,502
mínima fuerza (N)	1060,32
diferencia máxima de fuerzas (N)	238,182
máxima fuerza x (N)	424,648
mínima fuerza x (N)	-327,892
diferencia máxima de fuerzas x (N)	752,54
máxima fuerza y (N)	1251,574
minina fuerza y (N)	1035,074
diferencia máxima de fuerzas y (N)	216,5

Tabla 11. Resultados de la fuerzas en el punto B medidas en Newton. Longitud de la manivela 0,27 m. Fuente: Elaboración propia.

PUNTO D (manivela 0,27 m)	
máxima fuerza (N)	1226,672
minina fuerza (N)	1020,754
diferencia máxima de fuerzas (N)	205,918
máxima fuerza x (N)	330,977
mínima fuerza x (N)	-426,904
diferencia máxima de fuerzas x (N)	757,881
máxima fuerza y (N)	1193,358
mínima fuerza y (N)	976,209
diferencia máxima de fuerzas y (N)	217,149

Tabla 12. Resultados de la fuerzas en el punto D medidas en Newton. Longitud de la manivela 0,27 m. Fuente: elaboración propia.

Como podemos observar, la fuerza máxima se produce en el punto B, con un valor de 1298,502 N, cuyas componentes horizontal y vertical son 358,783 N y 1247,952 N respectivamente. Sin embargo, en el punto D la fuerza máxima es de 1226,672 N cuyas componentes horizontal y vertical son 310,508 N y 1186,722 N. Aunque estas fuerzas no son en el mismo instante de tiempo, aproximaremos la fuerza F que actúa en el centro de la barra por la suma de ambas, considerando así un caso más desfavorable. De tal forma que la fuerza F que suponemos que actúa sobre la biela (barra P) es $1298,502 + 1226,672 = 2525,174 \text{ N}$.

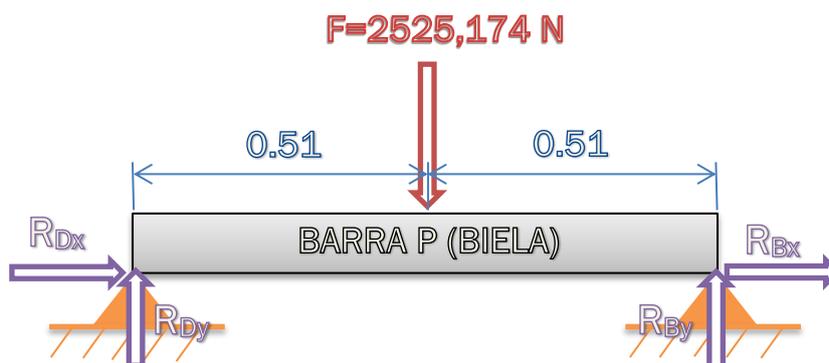


Figura 43. Esquema de la barra P biapoyada con una fuerza en su punto medio. Fuente: Elaboración propia.

Primero calculamos las reacciones en los apoyos, como se está tratando como un sistema estático, tanto el sumatorio de fuerzas como el de momentos será cero:

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a} = 0$$

$$\sum \vec{M} = I \cdot \vec{\alpha} = 0$$

De estas ecuaciones obtenemos:

- Sumatorio de fuerzas:

- Sumatorio de fuerzas horizontales:

$$R_{Dx} + R_{Bx} = 0$$

- Sumatorio de fuerzas verticales:

$$R_{Dy} + R_{By} - 2525,174 = 0$$

- Sumatorio de momentos:

Escogemos un punto de referencia donde tomaremos el sumatorio de momentos, en este caso escogeremos el punto D:

$$\sum \vec{M}_D = R_{By} \cdot 1,02 - 2525,174 \cdot 0,51 = 0$$

De esta ecuación despejamos R_{By} y obtenemos un valor:

$$R_{By} = \frac{2525,174 \cdot 0,51}{1,02} = 1262,587 \text{ N}$$

Una vez obtenido R_{By} , podemos despejar R_{Dy} del sumatorio de fuerzas verticales, obteniendo:

$$R_{Dy} = 2525,174 - 1262,587 = 1262,587 \text{ N}$$

Sin embargo, no podemos calcular las reacciones horizontales, ya que no tenemos ecuaciones suficientes, por ello la barra es hiperestática, es decir las ecuaciones de la estática no son suficientes para determinar las reacciones, a pesar de estar en equilibrio.

Hay varios métodos para calcular las barras hiperestáticas, no obstante obtendremos los datos del prontuario, donde están recogidas las hiperestaticidades más comunes.

El diagrama de esfuerzos obtenido del prontuario es:

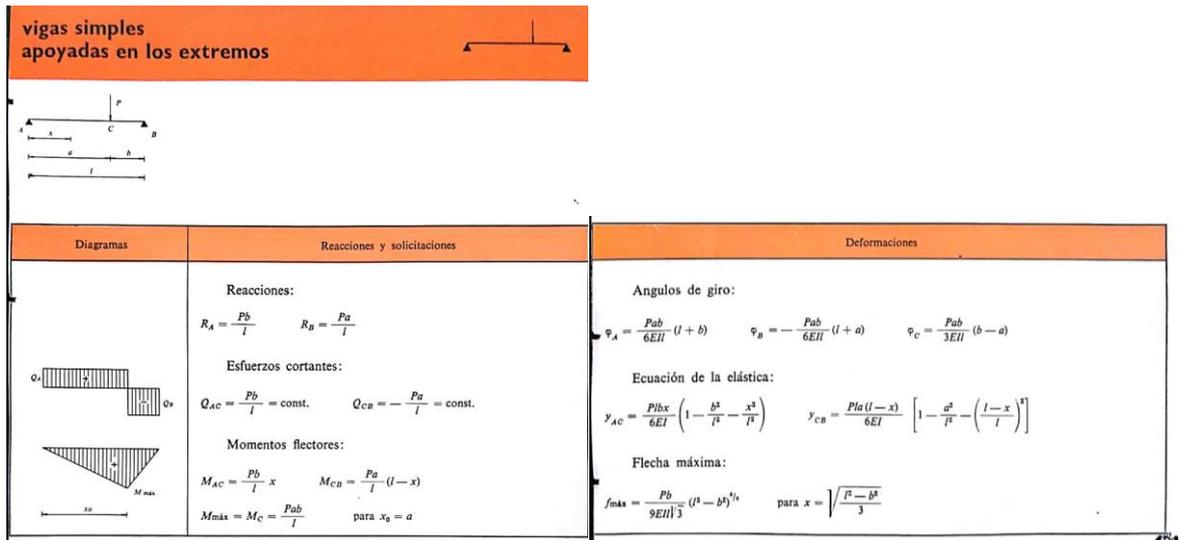


Figura 44. Prontuario ensidesa. Vigas simples apoyadas en los extremos con una carga puntual. Fuente: Prontuario ensidesa

En la Figura 44 podemos observar el diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores, además de las fórmulas de las reacciones en los extremos, los esfuerzos cortantes, los momentos flectores, el momento máximo, los ángulos de giro en los puntos importantes, la ecuación de la elástica y la flecha máxima.

De donde obtenemos las formulas generales de nuestro caso y las particularizamos para nuestras barras ya que:

- La longitud de la barra es de 1,02m, es decir, $l = 1,02 \text{ m}$
- La distancia desde los apoyos a la fuerza puntual es de 0,51m , es decir, $a = b = 0,51 \text{ m}$.
- La magnitud de la fuerza es de 2525,174 N, es decir, $P = 2525,174 \text{ N}$.

A partir de aquí podemos calcular:

- Reacciones en los extremos: como la distancia a y b son iguales, la reacción en los puntos de apoyo D y B son las mismas:

$$R_{By} = R_{Dy} = \frac{P \cdot a}{l} = \frac{2525,174 \cdot 0,51}{1,02} = 1262,857 \text{ N}$$

- Los esfuerzos cortantes: dividimos la barra en dos, del punto D al punto de aplicación de la fuerza, C y de ese mismo punto C hasta el punto B. Esas dos partes tendrán diferentes esfuerzos cortantes:

$$V_{DC} = \frac{P \cdot b}{l} = \frac{2525,174 \cdot 0,51}{1,02} = 1262,857 \text{ N}$$

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

$$V_{CB} = -\frac{P \cdot a}{l} = -\frac{2525,174 \cdot 0,51}{1,02} = -1262,857 \text{ N}$$

- Los momentos flectores: los momentos flectores en cada punto dependen de su distancia al punto D que es lo que se llama x. Hay dos tramos en los cuales los momentos flectores no tienen la misma fórmula, los mismos tramos en los que hemos dividido la barra para los esfuerzos cortantes:

$$M_{DC} = \frac{P \cdot b}{l} \cdot x = 1262,857 \cdot x \text{ Nm}$$

$$M_{CB} = \frac{P \cdot a}{l} \cdot (l - x) = 1262,857 \cdot (1,02 - x) \text{ Nm}$$

Siendo el momento flector máximo:

$$M_{Máx} = M_C = \frac{P \cdot a \cdot b}{l} = 664,05707 \text{ Nm}$$

Que ocurre para $x=a$, es decir $x=0,51$ m. por lo tanto el momento máximo ocurre en el punto medio, que es el mismo que el punto de aplicación de la fuerza (punto C).

Obteniendo así nuestro diagrama de esfuerzos:

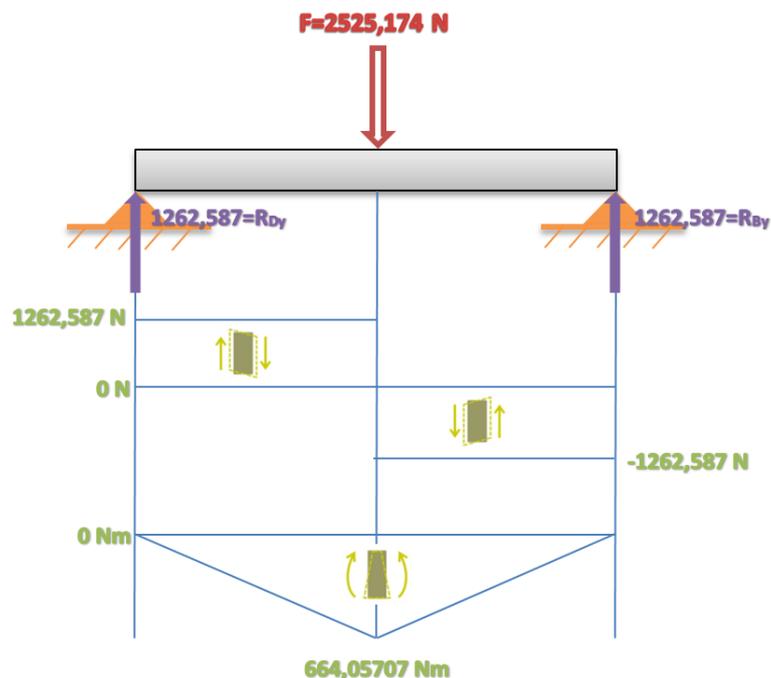


Figura 45. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores adaptado a la biela (barra P). Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en la *Figura 45* el momento máximo tiene un valor de 664,05707 Nm y está situado en el punto de aplicación de la fuerza, el punto medio y los esfuerzos cortantes máximos tienen un valor de 1262,587 N.

En este caso, la sección peligrosa es el punto medio, ya que tiene el mayor momento flector y además los cortantes tanto por la derecha como por la izquierda, son los mayores.

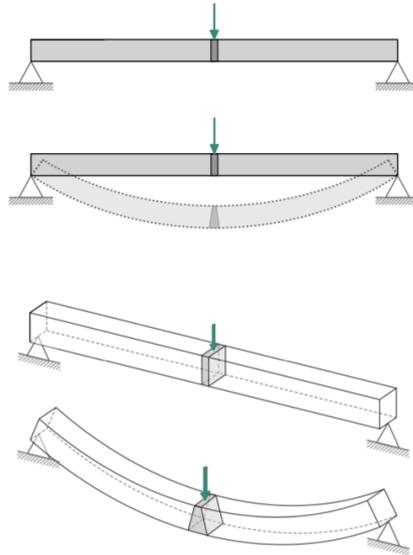


Figura 46. Relación entre la deformación de la barra y la sección. Fuente: personal.us.es/ejem/wp-content/uploads/2016/02/T08-Deformaciones.pdf

La deformación que sufrirá nuestra barra será principalmente debida al momento flector, el esfuerzo cortante, produce deformaciones pero son despreciables.

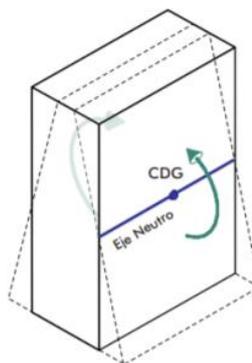


Figura 47. Deformación en la sección debida a un momento flector. Fuente: personal.us.es/ejem/wp-content/uploads/2016/02/T08-Deformaciones.pdf

Debido al momento flector, la barra se curva, para cuantificar las deformaciones de flexión, se calculan el giro y la flecha, siendo el giro el ángulo que forma la tangente a la barra deformada en cada punto y la flecha en un punto es el desplazamiento de ese punto en dirección perpendicular a la dirección de la barra.

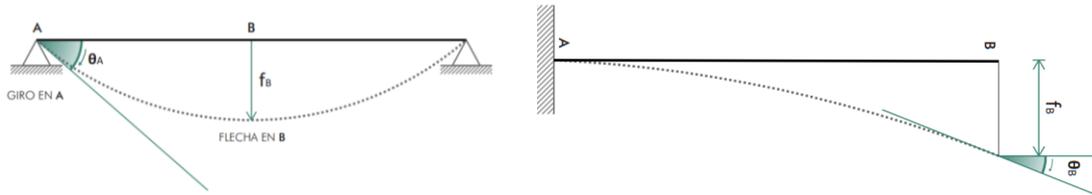


Figura 48. Barra biapoyada giro en A y flecha en B. Barra empotrada giro y flecha en B. Fuente: personal.us.es/ejem/wp-content/uploads/2016/02/T08-Deformaciones.pdf

- Flecha máxima:

$$f_{m\acute{a}x} = f_c = \frac{P \cdot b}{9 \cdot E \cdot I \cdot l \cdot \sqrt{3}} \cdot (l^2 - b^2)^{\frac{3}{2}}$$

$$f_{m\acute{a}x} = f_c = \frac{2525,174 \cdot 0,51}{9 \cdot E \cdot I \cdot 1,02 \cdot \sqrt{3}} \cdot (1,02^2 - 0,51^2)^{\frac{3}{2}}$$

Que ocurre para $x = \sqrt{\frac{l^2 - b^2}{3}} = \sqrt{\frac{1,02^2 - 0,51^2}{3}} = 0,51m$, es decir, ocurre en el punto C (punto medio de la barra y punto de aplicación de la fuerza).

Para calcular la flecha máxima, necesitamos saber el módulo de Young (E), característico de cada material, y la inercia (I) característica de cada perfil. Escogeremos un acero inoxidable ya que el diseño puede estar sometido a condiciones climatológicas adversas.

Además pondremos un límite de desplazamiento de 0,001m y despejaremos la inercia, calculando así el perfil que necesitamos.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE		SERIE 300 -					
		Acero al Cromo Níquel					
DESIGNACIÓN	TIPO ASTM (AISI)	301	302	303	304	304 L	321
	COMPOSICIÓN QUÍMICA		C% 0.15 Máx. Mn% 2.00 Máx. Si% 1.00 Máx. Cr% 16.0018.00 Ni% 6.008.00	C% 0.15 Máx. Mn% 2.00 Máx. Si% 1.00 Máx. Cr% 17.0019.00 Ni% 8.0010.00	C% 0.15 Máx. Mn% 2.00 Máx. Si% 1.00 Máx. Cr% 17.0019.00 Ni% 8.0010.00 S% 0.15 Máx.	C% 0.08 Máx. Mn% 2.00 Máx. Si% 1.00 Máx. Cr% 18.0020.00 Ni% 8.0010.50	C% 0.030 Máx. Mn% 2.00 Máx. Si% 1.00 Máx. Cr% 18.0020.00 Ni% 8.0012.00
PROPIEDADES FÍSICAS							
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)		7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm ²)		193.000	193.000	193.000	193.000	193.000	193.000
ESTRUCTURA		AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO
CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K)		500	500	500	500	500	500
CONDUCTIBILIDAD TÉRMICA (W/m K)							
		a 100 C	16	16	16	16	16
		a 150 C	21	21	21	21	21.5
COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICO MEDIO (x 10 ⁶ C ⁻¹)							
		0100 C	16.92	17.28	17.3	17.30	16.74
		0300 C	17.10	17.82	17.8	17.80	17.80
		0500 C	18.18	18.36	18.4	18.40	17.10
		0700 C	18.72	18.72	18.7	18.80	18.54
INTERVALO DE FUSIÓN (C)		13981420	13981420	13981420	13981454	13981454	13981427

Figura 49. Propiedades de los aceros inoxidable AISI. Fuente: Data.irestal.com/files/files/2012030204152933979.pdf

Nuestro acero será un acero inoxidable cuyo módulo de elasticidad o módulo de Young será de 193000 N/mm², como se puede observar en la Figura 49.

Para tener las mismas unidades en todos los términos de la fórmula de flecha máxima, pasaremos todo a N y mm²:

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{2525,174 \text{ N} \cdot 510\text{mm}}{9 \cdot \frac{193000\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot I \cdot 1020\text{mm} \cdot \sqrt{3}} \cdot ((1020\text{mm})^2 - (510\text{mm})^2)^{3/2} = 1 \text{ mm}$$

Despejando la inercia de la fórmula de flecha máxima obtenemos:

$$I = 289263,261 \text{ mm}^4$$

Seleccionaremos un perfil circular hueco, evitando así el desperdicio de material, siempre y cuando la estructura de nuestro mecanismo pueda soportar la carga impuesta sobre el mismo.

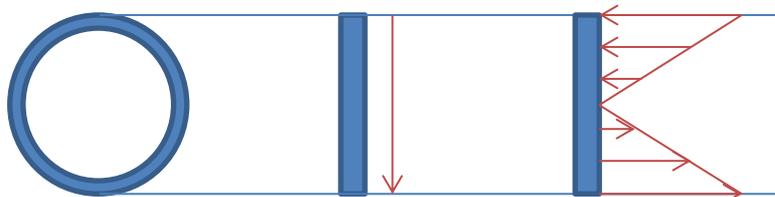


Figura 50. Diagrama de esfuerzos sobre nuestra sección peligrosa. Fuente: elaboración propia.

Como en las tablas de perfiles la inercia se encuentra en cm⁴, cambiaremos las unidades de la inercia que hemos calculado para nuestro perfil:

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

$$I = 289263,261 \text{ mm}^4 \cdot \frac{1 \text{ cm}^4}{10000 \text{ mm}^4} = 28,92 \text{ cm}^4$$

Ahora escogemos el menor perfil cuya inercia sea mayor que la calculada para nuestra barra.

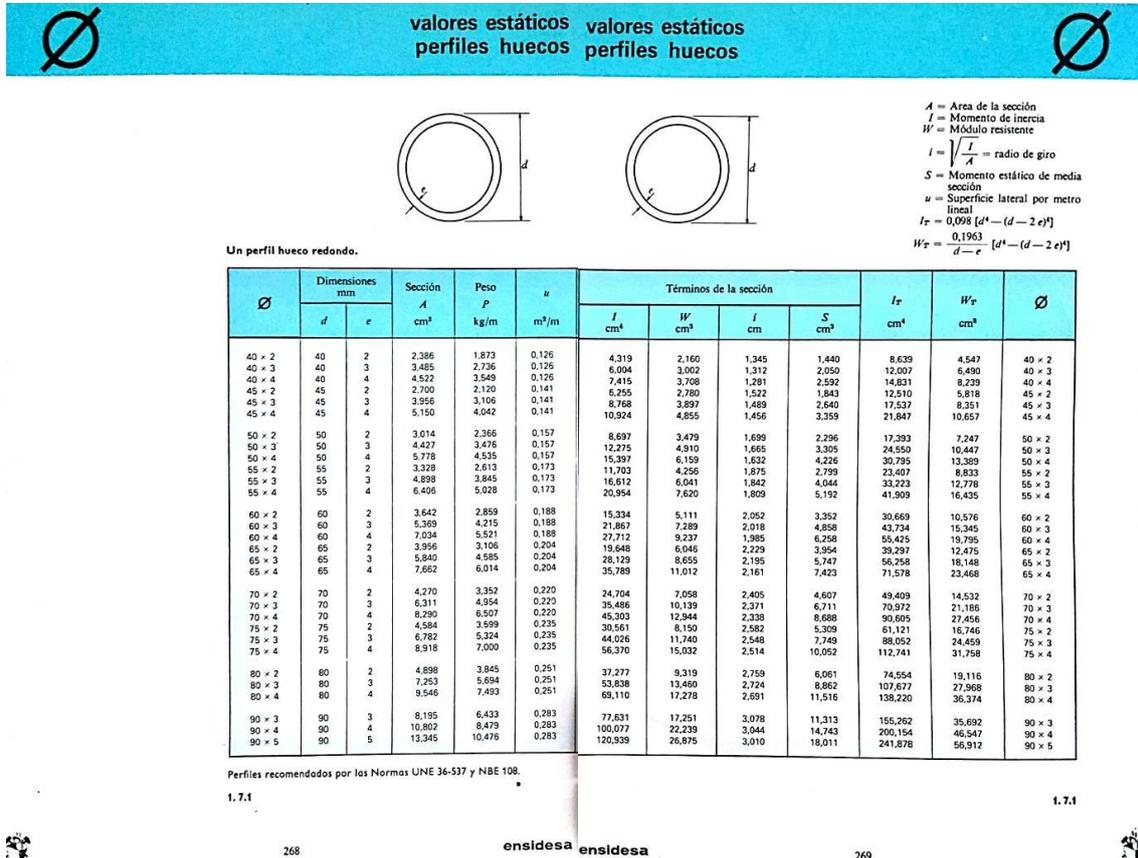


Figura 51. Prontuario ensidesa: tablas de perfiles, valores estáticos de perfiles huecos. Fuente: Prontuario ensidesa.

Observamos en las tablas de perfiles (Figura 51), y el perfil circular hueco más pequeño con una inercia mayor a 28,92 cm⁴ es el perfil con un diámetro exterior de 70mm y 3mm de espesor, que tiene una inercia de 35,486 cm⁴, por lo que cumpliría con creces nuestras exigencias.

Para calcular la sección más pequeña que podemos coger, podemos fijar el espesor y despejar de la fórmula de la inercia de un anillo, la cual es:

$$I = \frac{\pi}{4} \cdot (r_{exterior}^4 - r_{interior}^4)$$

Suponiendo un espesor de 2 mm, es decir, que $r_{exterior}(cm) = 0,2cm + r_{interior}(cm)$ e igualando la inercia a la calculada anteriormente:

$$I = 28,92 \text{ cm}^4 = \frac{\pi}{4} \cdot ((0,2 + r_{interior})^4 - r_{interior}^4)$$

Despejando el $r_{interior}$ nos da un valor de 3,48 cm y por lo tanto el $r_{exterior}$ es de 3,68 cm, y por consiguiente, el diámetro de nuestro perfil es de 7,36 cm y en consecuencia obtenemos un perfil de 73,6x2 mm, siendo 2mm el espesor. Como ese perfil no es como para ser comercializado, cogeremos el perfil más pequeño cuya inercia es mayor que 28,92 cm⁴ está en la tabla de perfiles, que es de 70mm y 3 mm de espesor, ya que ese estará comercializado, será más fácil colocar el soporte para apoyar los pies y además el diseño será más estético que con una barra más grande.

Continuamos con la manivela, barra S, para ello calcularemos las fuerzas que soportan los pares A y B que se encuentran en los extremos de dicha barra, para calcular en la situación más desfavorable, supondremos una barra biapoyada en la que actúa una fuerza vertical en el centro de la manivela de magnitud la suma de las fuerzas máximas en A y B, tal y como hemos hecho con la biela. Observamos que la fuerza máxima que se produce en A es de 1310,801N y en B es de 1298,305N, por lo que supondremos que en el centro de la barra existe una fuerza vertical hacia abajo de magnitud 1310,801+1298,305=2609,106 N.

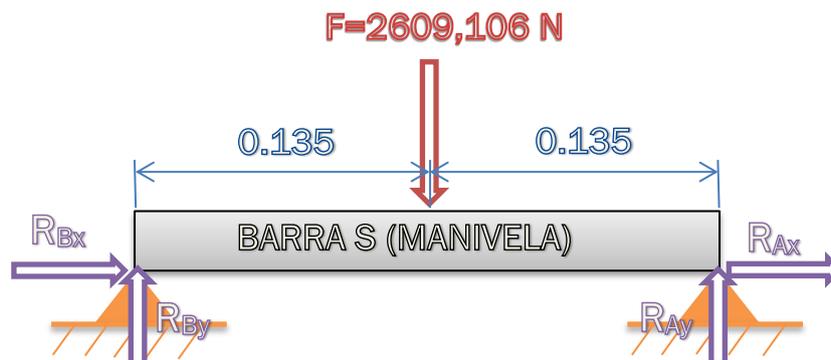


Figura 52. Esquema de la barra S biapoyada con una fuerza vertical en su punto medio. Fuente: elaboración propia.

Del Prontuario de la [Figura 44](#) obtenemos las formulas generales de nuestro caso y las particularizamos para nuestras barras ya que:

- La longitud de la barra es de 0,27m, es decir, $l = 0,27 \text{ m}$
- La distancia desde los apoyos a la fuerza puntual es de 0,135m , es decir, $a = b = 0,135 \text{ m}$.
- La magnitud de la fuerza es de 2609,106 N, es decir, $P = 2609,106 \text{ N}$.

A partir de aquí calculamos:

- Reacciones en los extremos:

$$R_{Ay} = R_{By} = \frac{P \cdot a}{l} = \frac{2609,106 \cdot 0,135}{0,27} = 1304,553 \text{ N}$$

- Los esfuerzos cortantes: dividimos la barra en dos mitades:

$$V_{izquierda} = \frac{P \cdot b}{l} = \frac{2609,106 \cdot 0,135}{0,27} = 1304,553 \text{ N}$$

$$V_{derecha} = -\frac{P \cdot a}{l} = -\frac{2609,106 \cdot 0,135}{0,27} = -1304,553 \text{ N}$$

- Los momentos flectores: los momentos flectores en cada punto dependen de su distancia al punto B que es lo que se llama x.

$$M_{izquierda} = \frac{P \cdot b}{l} \cdot x = 1304,553 \cdot x \text{ Nm}$$

$$M_{derecha} = \frac{P \cdot a}{l} \cdot (l - x) = 1304,553 \cdot (0,27 - x) \text{ Nm}$$

Siendo el momento flector máximo:

$$M_{Máx} = M_C = \frac{P \cdot a \cdot b}{l} = 176,114 \text{ Nm}$$

Que ocurre para $x=a$, es decir $x=0,135$ m. por lo tanto el momento máximo ocurre en el punto medio, que es el mismo que el punto de aplicación de la fuerza.

Obteniendo así nuestro diagrama de esfuerzos:

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

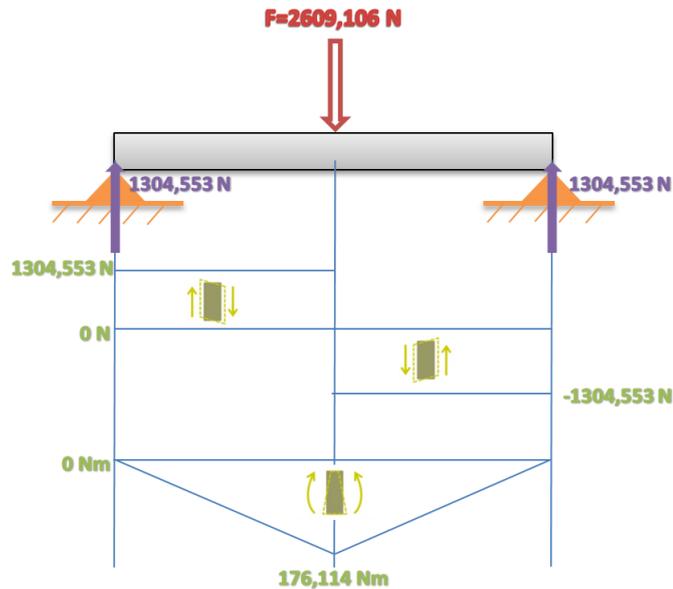


Figura 53. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos de la manivela (barra S). Fuente: elaboración propia.

Además calculamos la flecha máxima, para poner la condición de deformación máxima:

$$f_{\text{máx}} = f_c = \frac{P \cdot b}{9 \cdot E \cdot I \cdot l \cdot \sqrt{3}} \cdot (l^2 - b^2)^{\frac{3}{2}}$$

Que ocurre para $x = \sqrt{\frac{l^2 - b^2}{3}} = \sqrt{\frac{0,27^2 - 0,135^2}{3}} = 0,135 \text{ m}$, es decir, ocurre en el punto medio de la barra y punto de aplicación de la fuerza.

El material será para todas las barras el mismo, por lo que el módulo de Young seguirá siendo 193000 N/mm^2 . Además como la barra tiene una longitud menor que la biela, escogeremos una flecha máxima de $0,1 \text{ mm}$. Por lo tanto:

$$f_{\text{máx}} = \frac{2609,106 \text{ N} \cdot 135 \text{ mm}}{9 \cdot \frac{193000 \text{ N}}{\text{mm}^2} \cdot I \cdot 270 \text{ mm} \cdot \sqrt{3}} \cdot ((270 \text{ mm})^2 - (135 \text{ mm})^2)^{3/2} = 0,1 \text{ mm}$$

Despejando la inercia de la fórmula de flecha máxima obtenemos:

$$I = 55435,05 \text{ mm}^4$$

Como en las tablas de perfiles la inercia se encuentra en cm^4 , cambiaremos las unidades de la inercia que hemos calculado para nuestro perfil:

$$I = 55435,05 \text{ mm}^4 \cdot \frac{1 \text{ cm}^4}{10000 \text{ mm}^4} = 5,543 \text{ cm}^4$$

Ahora escogemos el menor perfil cuya inercia sea mayor que la calculada para nuestra barra. Si observamos la [Figura 55](#) vemos que el perfil más pequeño que podemos utilizar sería el que corresponde con 40 mm de diámetro y 3 mm de espesor, que tiene una inercia 6,004 cm², sin embargo, si queremos que el espesor sea de 2mm tendríamos que escoger un perfil de diámetro 50mm el cual tiene una inercia de 8,697 cm².

Para calcular la sección más pequeña que podemos coger, podemos fijar el espesor y despejar de la fórmula de la inercia de un anillo, la cual es:

$$I = \frac{\pi}{4} \cdot (r_{\text{exterior}}^4 - r_{\text{interior}}^4)$$

Suponiendo un espesor de 2 mm, es decir, que $r_{\text{exterior}}(\text{cm}) = 0,2\text{cm} + r_{\text{interior}}(\text{cm})$ e igualando la inercia a la calculada anteriormente:

$$I = 5,543 \text{ cm}^4 = \frac{\pi}{4} \cdot ((0,2 + r_{\text{interior}})^4 - r_{\text{interior}}^4)$$

Despejando r_{interior} obtenemos un valor de 1,96 cm y por lo tanto el r_{exterior} sería de 2,16 cm, obteniendo un diámetro de 43,3 mm, por lo que el perfil sería 43,3x2mm. Como ese perfil no está comercializado, y queremos escoger un perfil comercial, escogeremos el perfil de las tablas de perfiles 50x2 mm ya que así también tenemos menor diferencia entre las barras y conseguimos un diseño más homogéneo.

Finalmente estudiaremos el balancín o barra L, pero solamente la parte correspondiente entre los puntos D y E, ya que el resto de la barra no soporta fuerzas y se escogerá un perfil adecuado para que se pueda agarrar dicha barra fuertemente, teniendo en cuenta la ergonomía. Para ello calcularemos las fuerzas que soportan los pares D y E, para calcular en la situación más desfavorable, supondremos una barra biapoyada en la que actúa una fuerza vertical en el centro de la manivela de magnitud la suma de las fuerzas máximas en D y E, tal y como hemos hecho con las otras dos barras. Observamos que la fuerza máxima que se produce en D es de 1226,672 N y en E es de 1282,335 N, por lo que supondremos que en el centro de la barra existe una fuerza vertical hacia abajo de magnitud 1226,672+1282,335=2509,007 N.

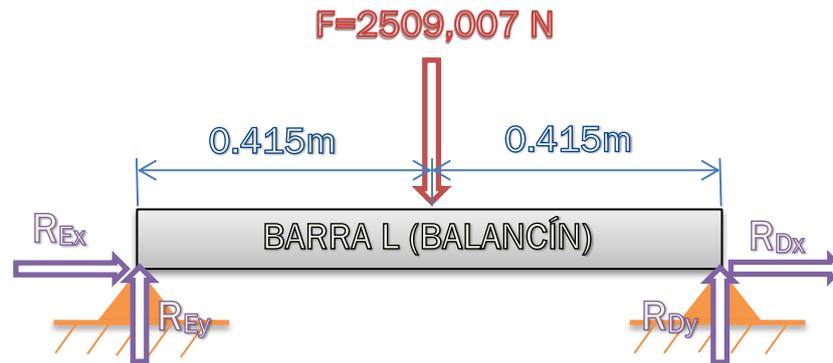


Figura 54. Esquema de la barra L biapoyada con una fuerza vertical en su punto medio. Fuente: elaboración propia.

Del Prontuario de la *Figura 44* obtenemos las formulas generales de nuestro caso y las particularizamos para nuestras barras ya que:

- La longitud de la barra es de 0,83m, es decir, $l = 0,83 \text{ m}$
- La distancia desde los apoyos a la fuerza puntual es de 0,415, es decir, $a = b = 0,415\text{m}$.
- La magnitud de la fuerza es de 2509,007 N, es decir, $P = 2509,007 \text{ N}$.

A partir de aquí calculamos:

- Reacciones en los extremos:

$$R_{Ay} = R_{By} = \frac{P \cdot a}{l} = \frac{2509,007 \cdot 0,415}{0,83} = 1254,5035 \text{ N}$$

- Los esfuerzos cortantes: dividimos la barra en dos mitades:

$$V_{izquierda} = \frac{P \cdot b}{l} = \frac{2509,007 \cdot 0,415}{0,83} = 1254,5035 \text{ N}$$

$$V_{derecha} = -\frac{P \cdot a}{l} = -\frac{2509,007 \cdot 0,415}{0,83} = -1254,5035 \text{ N}$$

- Los momentos flectores: los momentos flectores en cada punto dependen de su distancia al punto E que es lo que se llama x.

$$M_{izquierda} = \frac{P \cdot b}{l} \cdot x = 1254,5035 \cdot x \text{ Nm}$$

$$M_{derecha} = \frac{P \cdot a}{l} \cdot (l - x) = 1254,5035 \cdot (0,83 - x) \text{ Nm}$$

Siendo el momento flector máximo:

$$M_{Máx} = M_C = \frac{P \cdot a \cdot b}{l} = 520,6189 \text{ Nm}$$

Que ocurre para $x=a$, es decir $x=0,415 \text{ m}$. por lo tanto el momento máximo ocurre en el punto medio, que es el mismo que el punto de aplicación de la fuerza.

Obteniendo así nuestro diagrama de esfuerzos:

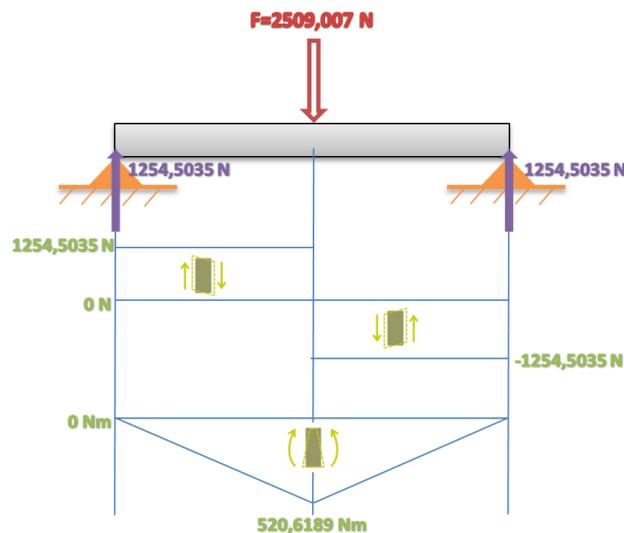


Figura 55. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos del balancín (barra L). Fuente: elaboración propia.

Además calculamos la flecha máxima, para poner la condición de deformación máxima:

$$f_{máx} = f_c = \frac{P \cdot b}{9 \cdot E \cdot I \cdot l \cdot \sqrt{3}} \cdot (l^2 - b^2)^{\frac{3}{2}}$$

Que ocurre para $x = \sqrt{\frac{l^2 - b^2}{3}} = \sqrt{\frac{0,83^2 - 0,415^2}{3}} = 0,415 \text{ m}$, es decir, ocurre en el punto medio de la barra y punto de aplicación de la fuerza.

El material será para todas las barras el mismo, por lo que el módulo de Young seguirá siendo 193000 N/mm^2 . Además como la barra tiene una longitud similar a la de la biela, por lo que escogeremos una flecha máxima de 1 mm . Por lo tanto:

$$f_{máx} = \frac{2509,007 \text{ N} \cdot 415 \text{ mm}}{9 \cdot \frac{193000 \text{ N}}{\text{mm}^2} \cdot I \cdot 830 \text{ mm} \cdot \sqrt{3}} \cdot ((830 \text{ mm})^2 - (415 \text{ mm})^2)^{\frac{3}{2}} = 1 \text{ mm}$$

Despejando la inercia de la fórmula de flecha máxima obtenemos:

$$I = 154859,4112 \text{ mm}^4$$

Como en las tablas de perfiles la inercia se encuentra en cm^4 , cambiaremos las unidades de la inercia que hemos calculado para nuestro perfil:

$$I = 154859,4112 \text{ mm}^4 \cdot \frac{1 \text{ cm}^4}{10000 \text{ mm}^4} = 15,48594112 \text{ cm}^4$$

Ahora escogemos el menor perfil cuya inercia sea mayor que la calculada para nuestra barra. Si observamos la [Figura 55](#) vemos que el perfil más pequeño que podemos utilizar sería el que corresponde con 55 mm de diámetro y 3 mm de espesor.

Para calcular la sección más pequeña que podemos coger, podemos fijar el espesor y despejar de la fórmula de la inercia de un anillo, la cual es:

$$I = \frac{\pi}{4} \cdot (r_{\text{exterior}}^4 - r_{\text{interior}}^4)$$

Suponiendo un espesor de 2 mm, es decir, que $r_{\text{exterior}}(\text{cm}) = 0,2\text{cm} + r_{\text{interior}}(\text{cm})$ e igualando la inercia a la calculada anteriormente:

$$I = 15,4859\text{cm}^4 = \frac{\pi}{4} \cdot ((0,2 + r_{\text{interior}})^4 - r_{\text{interior}}^4)$$

Despejando r_{interior} obtenemos un valor de 2,80 cm y por lo tanto el r_{exterior} sería de 3 cm, obteniendo un diámetro de 60 mm, por lo que el perfil sería 60x2mm. Como ese perfil sí puede estar comercializado, podemos elegir entre un perfil de 60x2mm o uno de 55x3mm.

BARRA	TIPO DE TUBO
MANIVELA	50x2 mm
BIELA	70x3 mm
BALANCÍN	60x2 mm

Tabla 13. Resumen de los perfiles obtenidos para cada barra. Fuente: elaboración propia.

En la [Tabla 13](#), podemos observar un resumen de los perfiles obtenidos tras el cálculo de las barras.

3.5.2. ELECCIÓN DEL MATERIAL Y PERFIL DE LAS BARRAS.

Como nuestro diseño está formado básicamente por barras, elegiremos un perfil de barra comercial, facilitándonos la obtención de los elementos principales del mecanismo y asegurándonos así poder satisfacer la demanda de este diseño.

Para ello deberemos encontrar un proveedor conveniente que suministre un perfil adecuado para nuestro diseño, miraremos en el catálogo de dicho proveedor y se pedirá la cantidad necesaria de barras para abastecer la demanda.

En nuestro diseño necesitaremos un material resistente a las condiciones adversas climatológicas ya que puede estar situado al aire libre, por ello seleccionaremos como material un acero inoxidable, que son aleaciones de hierro con un mínimo de un 10,5% de cromo.

El proveedor escogido es “Grupo Hastinik” formado por las empresas Hastinik, Tubasol, Inox Ibérica y Aerotécnica. Este equipo dispone de 13 delegaciones con almacén de materiales, disponiendo así de amplios stocks para suministro inmediato. Las delegaciones se localizan en Barcelona, Madrid, Álava, Sevilla, Valencia, Pontevedra, Girona, Zaragoza, Murcia, Tarragona, A Coruña, Valladolid y Cantabria, cubriendo así las necesidades en cualquier punto de la península ibérica. Además cuentan con certificados ISO9001:2008 para cada una de las empresas y certificado REPRO, asegurando así la calidad de sus productos.

Este proveedor nos permite escoger entre tubos de acero inoxidable austenítico y ferrítico. La elección de uno u otro material se hará considerando las diferentes características de cada uno.

El acero inoxidable ferrítico se trata de aleaciones binarias hierro-cromo que gracias a su alto contenido en cromo poseen buena resistencia a la corrosión que variará según la cantidad de cromo que contenga. Sus características principales son:

- Resistencia a la corrosión entre moderada y buena, la cual aumenta con el contenido en cromo y algunas aleaciones de molibdeno.
- Endurecidos moderadamente por trabajo en frío: no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico.
- Son magnéticos.
- Su soldabilidad es pobre por lo que generalmente se eliminan las uniones por soldadura a calibres delgados
- Usualmente se les aplica un tratamiento de recocido, obteniendo así mayor suavidad, ductilidad y resistencia a la corrosión.
- Debido a su pobre dureza, el uso se limita generalmente a procesos de conformado

en frío.

Por su parte, el acero inoxidable austenítico son aleaciones ferrosas con microestructura predominantemente austenítica, se obtienen adicionando elementos formadores de austenita como níquel, manganeso y nitrógeno. Sus características principales son:

- Excelente resistencia a la corrosión.
- Endurecidos por trabajo en frío y no por tratamiento térmico.
- Excelente soldabilidad.
- Excelente factor de higiene y limpieza.
- Tienen la habilidad de ser funcionales en temperaturas extremas.
- Son no magnéticos.

En la siguiente tabla se pueden comparar las propiedades generales de los aceros inoxidables:

TIPO	Resistencia a la corrosión	Dureza	Magnéticos	Endurecibles por tratamiento térmico	Soldabilidad
FERRÍTICOS	BUENA	MEDIA BAJA	SI	NO	LIMITADA
AUSTENÍTICOS	EXCELENTE	ALTA*	NO**	NO	EXCELENTE

*: Adquieren mayor dureza al ser trabajados en frío.

** : Adquieren cierto magnetismo al ser trabajados en frío.

Tabla 14. Propiedades generales de los aceros inoxidables. Fuente: <http://www.bonnet.es/clasificacionacerinox.pdf>

Debido a las características de dichos aceros, se considera que el acero que es más adecuado para nuestro diseño es el acero inoxidable austenítico debido a las condiciones climatológicas adversas a las que puede estar sometido.

Dentro de los aceros austeníticos, el proveedor nos ofrece dos calidades: AISI-304/304L. El acero inoxidable de grado 304 es el acero inoxidable más versátil y utilizada, tiene una excelente conformación y características de soldadura, por su parte, el acero tipo 304L está caracterizado por que tiene las emisiones más bajas de carbono, no requiere recocido posterior a la soldadura, se usa ampliamente en componentes de calibre grueso (más de 5mm).

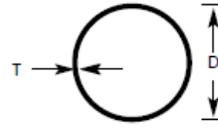
Como tanto el acero AISI-304 como el 304L tienen gran resistencia a la corrosión, utilizaremos un acero AISI-304 debido a que el grosor de nuestro tubo es menor a 5mm (2mm o 3 mm).

Del catálogo de nuestro proveedor, adjunto en el ANEXO 10.4. obtenemos la siguiente tabla, de la que escogeremos nuestro perfil de tubos de acero inoxidable y de la cual

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

podemos obtener el peso por metro de tubo:

Tubos redondos soldados
por alta frecuencia de acero
inoxidable austenítico



Diámetro exterior mm	Peso (Kg/m)						
	Espesor mm						
	1	1,2	1,5	1,6	2	2,5	3
12	0,275	0,325	0,39	0,41	0,50		
14	0,326	0,385	0,47	0,49	0,60		
15	0,351	0,415	0,50	0,53	0,65		
16	0,376	0,445	0,54	0,57	0,70		
16	0,426	0,505	0,62	0,65	0,80	0,970	1,12
20	0,476	0,565	0,69	0,73	0,90	1,095	1,27
21,3	0,508	0,604	0,74	0,78	0,96	1,177	1,37
22	0,526	0,625	0,77	0,81	1,00	1,22	1,42
23	0,551	0,655	0,80	0,85	1,05	1,28	1,50
25	0,601	0,715	0,88	0,93	1,15	1,40	1,65
26,9	0,649	0,772	0,95	1,01	1,24	1,527	1,79
28	0,676	0,805	0,99	1,05	1,30	1,58	1,87
30	0,726	0,865	1,07	1,13	1,40	1,722	2,02
32	0,776	0,925	1,14	1,21	1,50	1,847	2,17
33	0,801	0,956	1,18	1,25	1,55	1,90	2,25
33,7	0,819	0,977	1,209	1,28	1,58	1,95	2,30
35	0,851	1,016	1,258	1,33	1,65	2,03	2,40
36	0,926	1,106	1,371	1,45	1,80	2,22	2,62
40	0,977	1,166	1,446	1,53	1,90	2,34	2,77
42	1,027	1,226	1,521	1,61	2,00	2,47	2,93
42,4	1,037	1,238	1,536	1,63	2,02	2,48	2,96
43	1,052	1,256	1,559	1,65	2,05	2,53	3,00
45	1,102	1,316	1,634	1,73	2,15	2,66	3,15
46	1,177	1,406	1,747	1,85	2,30	2,84	3,38
46,3	1,184	1,415	1,758	1,87	2,31	2,867	3,40
50	1,227	1,466	1,822	1,93	2,40	2,97	3,53
50,8	1,247	1,490	1,852	1,97	2,44	3,02	3,59
51	1,252	1,496	1,859	1,97	2,45	3,03	3,60
53	1,302	1,556	1,934	2,05	2,55	3,16	3,75
60,3	1,485	1,776	2,209	2,35	2,92	3,61	4,30
63,5	1,565	1,872	2,329	2,48	3,08	3,81	4,54
70	1,726	2,067	2,573	2,740	3,405	4,22	5,03
73	1,803	2,157	2,686	2,861	3,556	4,413	5,258
76,1	1,881	2,251	2,802	2,965	3,711	4,607	5,491
80	1,978	2,368	2,948	3,141	3,906	4,852	5,784
84	2,078	2,488	3,099	3,301	4,107	5,102	6,085
88,9		2,635	3,263	3,498	4,352	5,409	6,453
101,6			3,760	4,006	4,988	6,204	7,407
104			3,850	4,103	5,108	6,354	7,587
106			4,000	4,263	5,308	6,604	7,888
114,3			4,237	4,515	5,624	6,999	8,361

Normas de fabricación: EN 10296-2
Tolerancias: ISO-1127
Calidad de material: AISI-304/304 L
Bajo pedido se pueden fabricar en otras calidades

Figura 56. Catálogo Hastinik de tubos redondos soldados por alta frecuencia de acero inoxidable austenítico. Fuente: Catálogo Hastinik General.

Por los cálculos realizados en el punto anterior, sabemos que la biela tiene un diámetro de 70mm y un espesor de 3mm y la manivela tiene un diámetro de 50mm y un espesor de 2mm, y estos perfiles se encuentran en el catálogo de nuestro proveedor elegido. Sin embargo, el balancín tanto el perfil obtenido de las tablas de perfiles (55x3mm) como el calculado tras obtener la inercia (60x2mm) no se encuentran en el catálogo del proveedor que hemos elegido, por lo que escogeremos el perfil 60,3x2mm ya que al ser un perfil

mayor que el calculado soportará la carga.

En la *Figura 56* podemos observar, recuadrado en naranja, el perfil de tubo escogido para la manivela, que tiene un peso específico de 2,404 kg/m, recuadrado en azul, podemos observar el perfil elegido para la biela, el cual tiene un peso de 5,033kg/m y finalmente recuadrado en rojo tenemos el perfil elegido para el balancín, el cual tiene un peso de 2,920 kg/m.

Sin embargo, para que sea más fácil agarrar la barra L con las manos, la barra L desde el punto E de unión Barra L-bancada, escogeremos un perfil de diámetro exterior 33mm. En la *Figura 56* recuadrado en morado, tenemos el perfil de tubo escogido de 33 mm y 1,6mm de espesor, ya que no es necesario que esta barra tenga un espesor muy grande, cuyo peso por metro es de 1,258 kg/m.

Finalmente, como tenemos la longitud de las barras obtenemos sus pesos:

- Manivela (Barra S):

$$0,27m \cdot \frac{2,404kg}{m} = 0,64908 kg$$

- Biela (Barra P):

$$1,02m \cdot \frac{5,033 kg}{m} = 5,13366 kg$$

- Balancín (Barra L):

$$0,83m \cdot \frac{2,920 kg}{m} + 0,77 \cdot \frac{1,258 kg}{m} = 3,39226 kg$$

BARRA	PERFIL
MANIVELA	50x2 mm
BIELA	70x3 mm
BALANCÍN	60.3x2 mm

Tabla 15. Resumen perfiles de las barras finales (comerciales). Fuente: elaboración propia.

En la *Tabla 15*, observamos un resumen de los perfiles comerciales que finalmente tendrán nuestras barras.

3.6. CÁLCULO DE RODAMIENTOS.

En todas las uniones móviles existe un movimiento relativo entre dos superficies, para facilitar el deslizamiento y reducir el desgaste se utilizan cojinetes, en este caso como el rozamiento en los pares es por rodadura, en cada par rotativo necesitaremos un rodamiento o cojinete de rodadura, que aunque encarece el precio, reduce

considerablemente el rozamiento, el desgaste y el lubricante necesario, permitiendo una mayor velocidad y mayores cargas.

3.6.1. TIPOS DE RODAMIENTOS

Un rodamiento es un elemento mecánico que funciona entre dos elementos los cuales uno posee un movimiento relativo con respecto del otro, cuyo objetivo es evitar la fricción, transmitir cargas y guiar las partes móviles. Están constituidos por un anillo interior denominado pista interior, unido solidariamente al árbol o eje; otro anillo exterior, unido al soporte del cojinete y un conjunto de elementos rodantes, que pueden ser bolas, rodillos o conos, separados entre sí por medio de una jaula que mantiene cierta distancia entre ellos.

Hay varios tipos de rodamientos, principalmente se diferencian dos tipos dependiendo de la carga:

- Rodamientos radiales (para cargas perpendiculares al eje)
 - Rodamiento rígido de bolas, de una o dos hileras: este tipo de rodamiento no soporta más que cargas radiales.

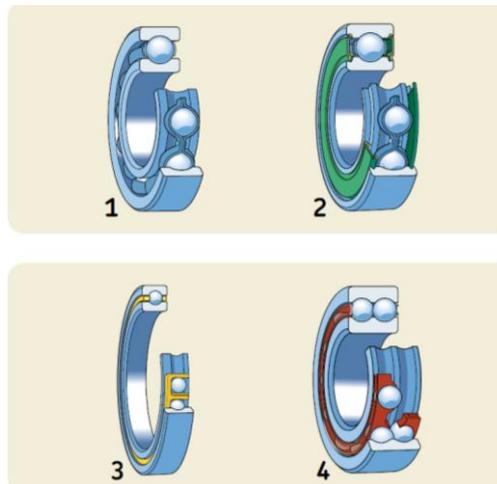


Figura 57. Rodamientos rígidos de bolas. 1. de una hilera diseño básico abierto. 2. De una hilera con obturaciones rozantes. 3. De una hilera con sección fija diseño básico abierto. 4. Con obturaciones rozantes de dos hileras. Fuente: catálogo SKF.

- Rodamiento rígido de bolas de contacto angular. La carga se transmite de un camino de rodadura a otro, con lo que se consigue una elevada capacidad de carga axial.

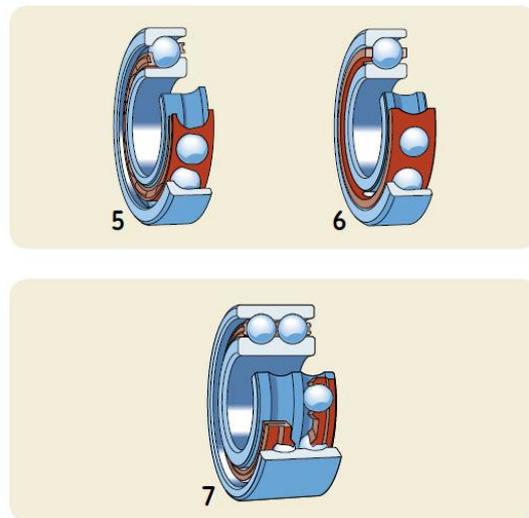


Figura 58. Rodamientos de bolas con contacto angular. 5. De una hilera, diseño básico para un montaje universal. 6. De una hilera y alta precisión, diseño estándar para un montaje individual. 7. De dos hileras con aro interior enterizo. Fuente: catálogo SKF.

- Rodamiento oscilante de bolas o de rótula: Dispone de dos hileras de bolas con un camino de rodadura común y esférico en el aro exterior. Tiene la propiedad de orientarse automáticamente y compensar de este modo este modo posiciones inclinadas del eje respecto al soporte, así como flexiones del eje.

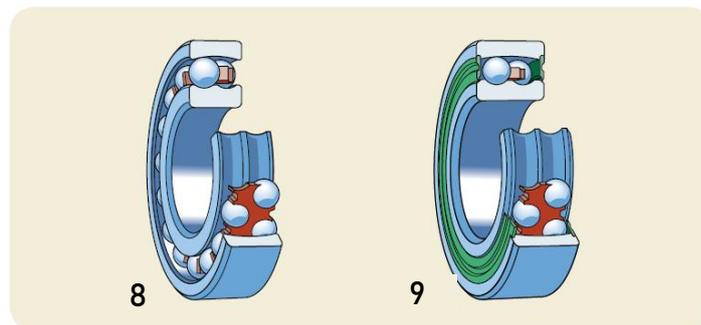


Figura 59. Rodamiento oscilante de bolas o de rótula. 8. Diseño básico abierto. 9. Con obturaciones rozantes. Fuente: catálogo SKF.

- Rodamientos de rodillos cilíndricos: no pueden soportar más que cargas radiales.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

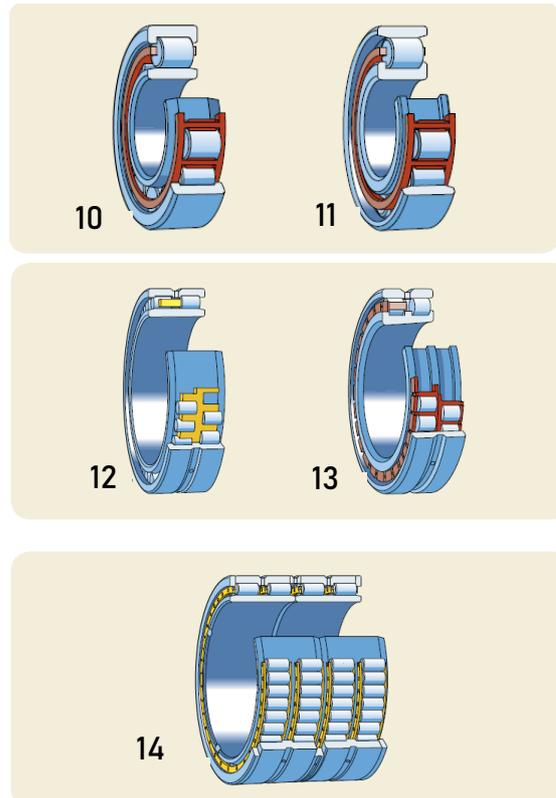


Figura 60. Rodamientos de rodillos cilíndricos. 10. De una hilera diseño UN. 11. De una hilera diseño N. 12. De dos hileras con agujero cilíndrico o cónico diseño NNU. 13. De dos hileras con agujero cilíndrico o cónico diseño NN. 14. De cuatro hileras con agujero cilíndrico o cónico diseño abierto. Fuente: catálogo SKF.

- Rodamiento de agujas: únicamente soportan cargas radiales. Se usan cuando interesa que haya poca diferencia de diámetros y existen cargas bruscas.

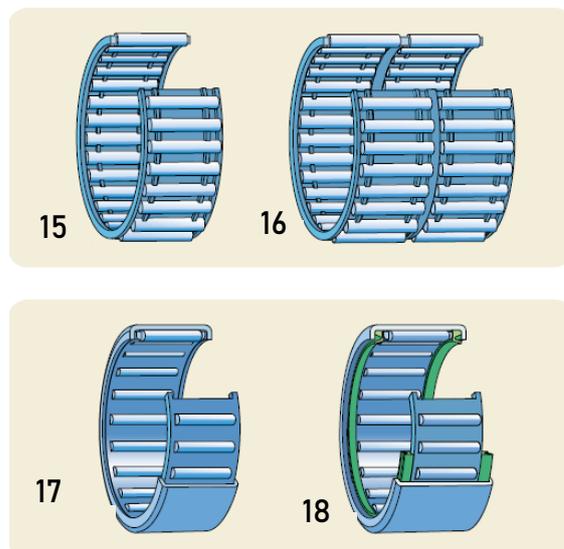


Figura 61. Rodamiento de agujas. 15. Corona de agujas de una hilera. 16. Corona de agujas de dos hileras.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

de dos hileras. 17. Casquillo de agujas sin fondo de una hilera diseño básico abierto. 18. Casquillo de agujas sin fondo de una hilera con obturaciones rozantes. Fuente: catálogo SKF.

- Rodamientos axiales (para cargas paralelas al eje)
 - Rodamiento axial de bolas: pueden ser de simple efecto absorbiendo cargas axiales en un solo sentido, o de doble efecto, absorbiendo cargas axiales en ambos sentidos.

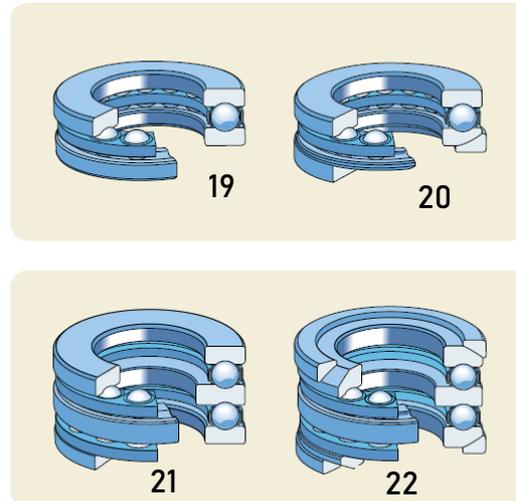


Figura 62. Rodamientos axiales de bolas. 19. De simple efecto con una arandela de alojamiento plana. 20. De simple efecto con una arandela de alojamiento esférica con arandela de asiento. 21. De doble efecto con arandelas de alojamiento planas. 22. De doble efecto con arandelas de alojamiento esféricas. Fuente: catálogo SKF.

- Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos: pueden ser de simple efecto absorbiendo cargas axiales en un solo sentido, o de doble efecto, absorbiendo cargas axiales en ambos sentidos.

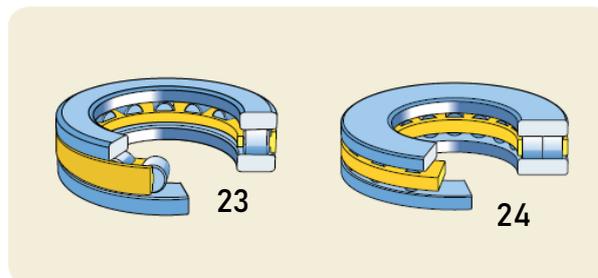


Figura 63. Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos de simple efecto. 23. De una hilera. 24. De dos hileras. Fuente: catálogo SKF.

- Rodamientos para cargas oblicuas
 - Rodamientos cónicos: pueden transmitir grandes cargas axiales y radiales. Permiten simplificar considerablemente los montajes, mediante la supresión de combinaciones de rodamientos axiales y radiales ya que los rodillos

cónicos cumplen la finalidad de ambos.

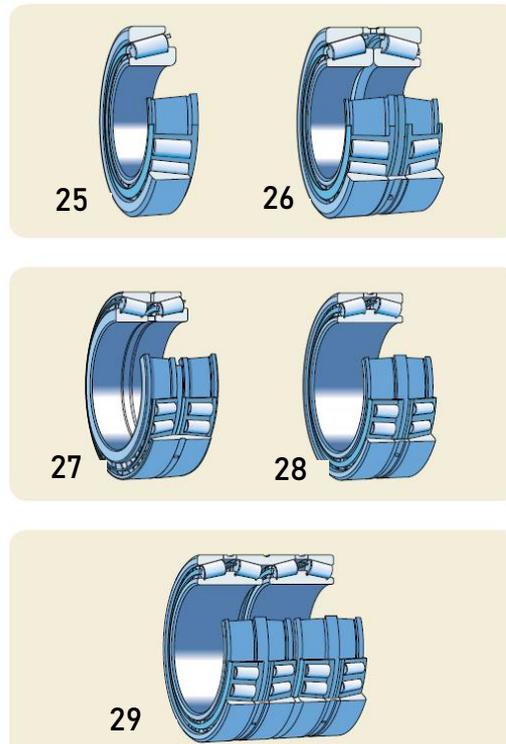


Figura 64. Rodamientos cónicos. 25. De una hilera de rodamientos individuales. 26. De una hilera conjuntos apareados cara a cara. 27. De dos hileras configuración espalda con espalda. 28. De dos hileras configuración cara a cara. 29. De cuatro hileras. Fuente: catálogo SKF.

3.6.2. CÁLCULO DEL EJE DE LOS PARES ROTATIVOS.

Para poder calcular los rodamientos necesitamos previamente conocer la sección del eje, para saber el diámetro del agujero interior del rodamiento. Para ello consideraremos que el eje está biapoyado en las dos barras a las que une. La longitud del eje será la suma de los diámetros de las dos barras a las que une, que dependerá del par rotativo que estemos calculando, ya que cada barra tiene un diámetro diferente.

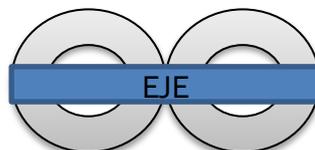


Figura 65. Eje que unirá los pares rotativos. Fuente: elaboración propia

La fuerza ejercida sobre el eje, será la fuerza máxima que existe en cada par rotativo. Para que el eje sea suficiente para cada unión, calcularemos la sección del eje para la fuerza

máxima que hay en cada par rotativo.

Para que la situación sea la más desfavorable, consideraremos que la fuerza se ejerce en el punto medio del eje, y que el eje se apoya en las barras en sus extremos, por lo que tendríamos el siguiente modelo:

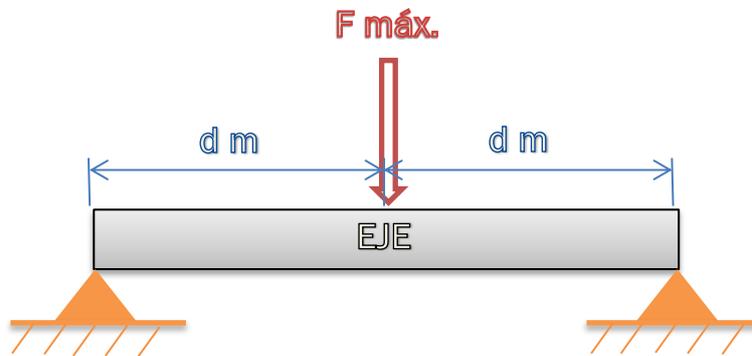


Figura 66. Modelo del eje con la fuerza en su punto medio.
Fuente: elaboración propia

Comenzaremos estudiando el eje que necesitaremos en el par B que une la barra S (manivela) y la barra P (biela), cuya fuerza máxima es de 1298,502 N.

Consultando el Prontuario, mostrado anteriormente en la *Figura 44*, de donde obtenemos las formulas generales y las particularizamos para nuestro eje ya que:

- La longitud del eje es de 0,12 m (suma del diámetro de la manivela y la biela), es decir, $l = 0,12 \text{ m}$
- La distancia desde los apoyos a la fuerza puntual es de 0,06m , es decir, $a = b = 0,06 \text{ m}$.
- La magnitud de la fuerza es de 1298,502 N, es decir, $P = 1298,502 \text{ N}$.

A partir de aquí podemos calcular:

- Reacciones en los extremos: como la distancia a y b son iguales, la reacción en los puntos de apoyo tienen el mismo valor:

$$R_{izquierda_y} = R_{dercha_y} = \frac{P \cdot a}{l} = \frac{1298,502 \cdot 0,06}{0,12} = 649,251 \text{ N}$$

- Los esfuerzos cortantes: dividimos el eje en dos mitades:

$$V_{izquierda} = \frac{P \cdot b}{l} = \frac{1298,502 \cdot 0,06}{0,12} = 649,251 \text{ N}$$

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

$$V_{derecha} = -\frac{P \cdot a}{l} = -\frac{1298,502 \cdot 0,06}{0,12} = -649,251 \text{ N}$$

- Los momentos flectores: los momentos flectores en cada punto dependen de su distancia al desde el extremo izquierdo hacia el derecho que es lo que se llama x.

$$M_{izquierda} = \frac{P \cdot b}{l} \cdot x = 649,251 \cdot x \text{ Nm}$$

$$M_{derecha} = \frac{P \cdot a}{l} \cdot (l - x) = 649,251 \cdot (0,12 - x) \text{ Nm}$$

Siendo el momento flector máximo:

$$M_{Máx} = M_{punto\ medio} = \frac{P \cdot a \cdot b}{l} = 649,251 \cdot 0,06 = 38,955 \text{ Nm}$$

El momento máximo ocurre para $x=a$, es decir $x=0,06$ m, es decir, el momento máximo ocurre en el punto medio, que es el mismo que el punto de aplicación de la fuerza.

Obteniendo así nuestro diagrama de esfuerzos:

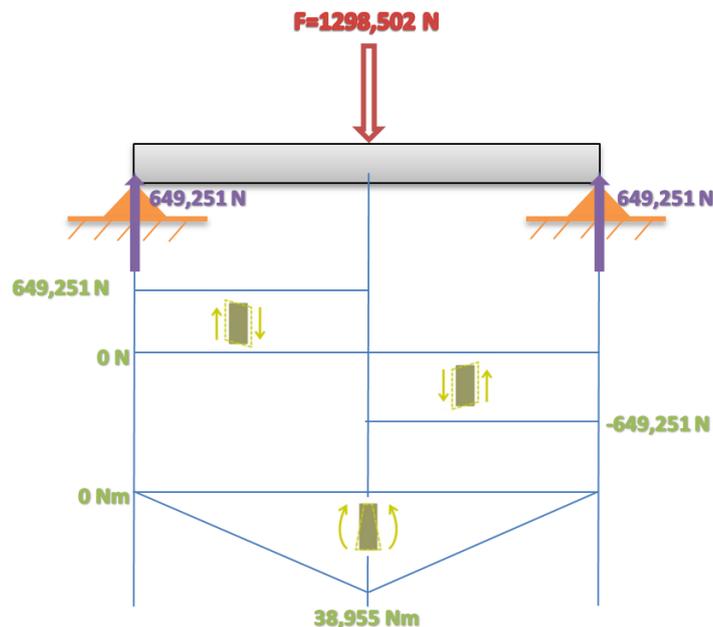


Figura 67. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores adaptado al eje del par B. Fuente: elaboración propia.

Como podemos observar en la *Figura 67*, la sección peligrosa es el punto medio, ya que tiene el mayor momento flector y además los cortantes tanto por la derecha como por la

izquierda, son los mayores.

Además podemos calcular la flecha máxima para

- Flecha máxima:

$$f_{m\acute{a}x} = f_c = \frac{P \cdot b}{9 \cdot E \cdot I \cdot l \cdot \sqrt{3}} \cdot (l^2 - b^2)^{\frac{3}{2}}$$

Que ocurre para $x = \sqrt{\frac{l^2 - b^2}{3}} = \sqrt{\frac{0,12^2 - 0,06^2}{3}} = 0,06m$, es decir, ocurre en el punto medio de la barra y punto de aplicación de la fuerza.

Para calcular la flecha máxima, necesitamos saber el módulo de Young (E), característico de cada material, y la inercia (I) característica de cada perfil. Escogeremos un acero inoxidable ya que el diseño puede estar sometido a condiciones climatológicas adversas.

Además pondremos un límite de desplazamiento de 0,01m y despejaremos la inercia, calculando así el perfil que necesitamos.

Nuestro acero será un acero inoxidable cuyo módulo de elasticidad o módulo de Young será de 193000 N/mm², como se puede observar en la [Figura 53](#) que contiene las propiedades de los aceros inoxidables. Utilizaremos este acero para todos los ejes, por lo que los módulos de elasticidad de todos los ejes serán 193000 N/mm².

Para tener las mismas unidades en todos los términos de la fórmula de flecha máxima, pasaremos todo a N y mm²:

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{1298,502 \text{ N} \cdot 60 \text{ mm}}{9 \cdot \frac{193000 \text{ N}}{\text{mm}^2} \cdot I \cdot 120 \text{ mm} \cdot \sqrt{3}} \cdot ((120 \text{ mm})^2 - (60 \text{ mm})^2)^{3/2} = 1 \text{ mm}$$

Despejando la inercia de la fórmula de flecha máxima obtenemos:

$$I = 242,2076 \text{ mm}^4$$

Seleccionaremos un perfil circular, siempre y cuando la estructura de nuestro mecanismo pueda soportar la carga impuesta sobre el mismo.

Si despejamos el radio de la fórmula de la inercia del círculo:

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

$$I = \frac{\pi}{4} \cdot R^4$$

$$I = 242,2076 \text{ mm}^4 = \frac{\pi}{4} \cdot R^4$$

$$R = 4,19 \text{ mm}$$

Por lo tanto, para el eje que une la manivela con la biela, obtenemos un diámetro de 8,38 mm, como no hay rodamientos para este diámetro, escogeremos un diámetro del eje de 9 mm como mínimo, siempre que existan rodamientos que soporten la capacidad de carga solicitada y con un diámetro interior de 9mm.

Seguiremos con el estudio del eje que necesitaremos en el par D que une la barra L (balancín) y la barra P (biela), cuya fuerza máxima es de 1190,91 N.

Consultando el Prontuario, mostrado anteriormente en la [Figura 44](#), y particularizando para nuestro caso:

- La longitud del eje es de 0,1303 m (suma de los diámetros de la biela y el balancín), es decir, $l = 0,1303 \text{ m}$
- La distancia desde los apoyos a la fuerza puntual es de 0,06515m , es decir, $a = b = 0,06515 \text{ m}$.
- La magnitud de la fuerza es de 1190,91 N, es decir, $P = 1190,91 \text{ N}$.

A partir de aquí podemos calcular:

- Reacciones en los extremos:

$$R_{izquierda_y} = R_{derecha_y} = \frac{P \cdot a}{l} = \frac{1190,91 \cdot 0,06515}{0,1303} = 595,455 \text{ N}$$

- Los esfuerzos cortantes: volvemos a dividir el eje en dos mitades con diferentes esfuerzos cortantes:

$$V_{izquierda} = \frac{P \cdot b}{l} = \frac{1190,91 \cdot 0,06515}{0,1303} = 595,455 \text{ N}$$

$$V_{derecha} = -\frac{P \cdot a}{l} = -\frac{1190,91 \cdot 0,06515}{0,1303} = -595,455 \text{ N}$$

- Los momentos flectores:

$$M_{izquierda} = \frac{P \cdot b}{l} \cdot x = 595,455 \cdot x \text{ Nm}$$

$$M_{derecha} = \frac{P \cdot a}{l} \cdot (l - x) = 595,455 \cdot (0,1303 - x) \text{ Nm}$$

Siendo el momento flector máximo:

$$M_{Máx} = M_{punto\ medio} = \frac{P \cdot a \cdot b}{l} = 595,455 \cdot 0,06515 = 38,7939 \text{ Nm}$$

El momento máximo ocurre para $x=a$, es decir $x=0,06515$ m, es decir, el momento máximo ocurre en el punto medio, que es el mismo que el punto de aplicación de la fuerza.

Obteniendo así nuestro diagrama de esfuerzos:

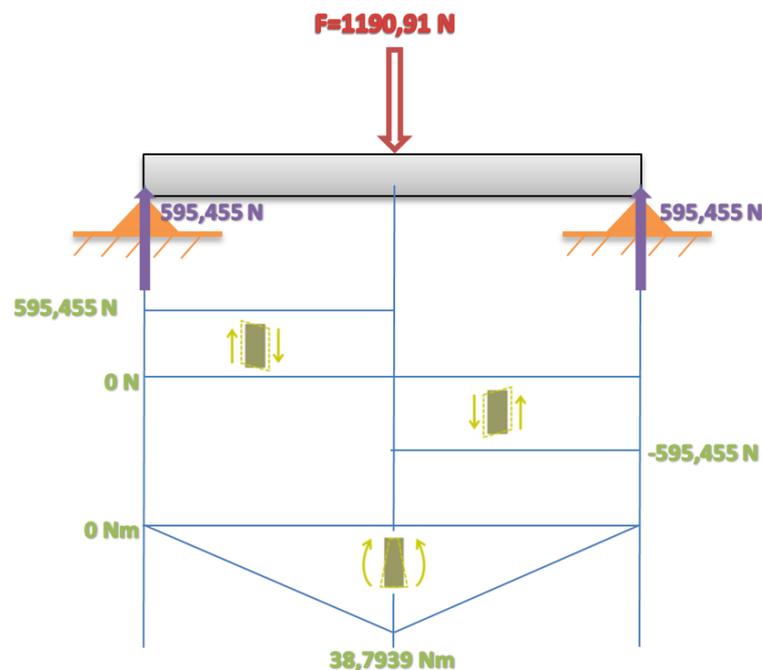


Figura 68. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores adaptado al eje del par D. Fuente: elaboración propia.

En este caso, como en el anterior, se puede observar en la [Figura 68](#) que la sección peligrosa es el punto medio, ya que tiene el mayor momento flector y además los cortantes tanto por la derecha como por la izquierda, son los mayores.

Por lo tanto estudiaremos la flecha máxima y la restringiremos para que sea como máximo 1mm.

- Flecha máxima:

$$f_{m\acute{a}x} = f_c = \frac{P \cdot b}{9 \cdot E \cdot I \cdot l \cdot \sqrt{3}} \cdot (l^2 - b^2)^{\frac{3}{2}}$$

Que ocurre para $x = \sqrt{\frac{l^2 - b^2}{3}} = \sqrt{\frac{0,1303^2 - 0,06515^2}{3}} = 0,06515m$, es decir, ocurre en el punto medio de la barra y punto de aplicación de la fuerza.

Teniendo en cuenta que el módulo de Young es de 193000 N/mm²:

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{1190,91 \text{ N} \cdot 65,15\text{mm}}{9 \cdot \frac{193000\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot I \cdot 130,3\text{mm} \cdot \sqrt{3}} \cdot ((130,3\text{mm})^2 - (65,15\text{mm})^2)^{3/2} = 1 \text{ mm}$$

Despejando la inercia de la fórmula de flecha máxima obtenemos:

$$I = 284,3896 \text{ mm}^4$$

Seleccionaremos un perfil circular, siempre y cuando la estructura de nuestro mecanismo pueda soportar la carga impuesta sobre el mismo.

Si despejamos el radio de la fórmula de la inercia del círculo:

$$I = \frac{\pi}{4} \cdot R^4$$

$$I = 284,3896 \text{ mm}^4 = \frac{\pi}{4} \cdot R^4$$

$$R = 4,36\text{mm}$$

Por lo tanto, para el eje que une la biela con el balancín, obtenemos un diámetro de 8,72 mm, como no hay rodamientos para este diámetro, escogeremos un diámetro del eje de 9 mm como mínimo, siempre que existan rodamientos que soporten la capacidad de carga solicitada y con un diámetro interior de 9mm.

En el caso de los pares E y A, que unen barras a la bancada, definiremos la longitud del eje como el doble del diámetro de la barra la cual unen con la bancada.

Continuaremos con el estudio del eje que necesitaremos en el par E que une la barra L (balancín) y la bancada, cuya fuerza máxima es de 1282,335 N.

Consultando el Prontuario, mostrado anteriormente en la Figura 44, y particularizando

para nuestro caso:

- La longitud del eje es de 0,1206 m, es decir, $l = 0,1206 \text{ m}$
- La distancia desde los apoyos a la fuerza puntual es de 0,0603m , es decir, $a = b = 0,0603 \text{ m}$.
- La magnitud de la fuerza es de 1282,335 N, es decir, $P = 1282,335 \text{ N}$.

A partir de aquí podemos calcular:

- Reacciones en los extremos:

$$R_{izquierda_y} = R_{derecha_y} = \frac{P \cdot a}{l} = \frac{1282,335 \cdot 0,0603}{0,1206} = 641,1675 \text{ N}$$

- Los esfuerzos cortantes: volvemos a dividir el eje en dos mitades con diferentes esfuerzos cortantes:

$$V_{izquierda} = \frac{P \cdot b}{l} = \frac{1282,335 \cdot 0,0603}{0,1206} = 641,1675 \text{ N}$$

$$V_{derecha} = -\frac{P \cdot a}{l} = -\frac{1282,335 \cdot 0,0603}{0,1206} = -641,1675 \text{ N}$$

- Los momentos flectores:

$$M_{izquierda} = \frac{P \cdot b}{l} \cdot x = 641,1675 \cdot x \text{ Nm}$$

$$M_{derecha} = \frac{P \cdot a}{l} \cdot (l - x) = 641,1675 \cdot (0,1206 - x) \text{ Nm}$$

Siendo el momento flector máximo:

$$M_{Máx} = M_{punto\ medio} = \frac{P \cdot a \cdot b}{l} = 641,1675 \cdot 0,0603 = 38,6624 \text{ Nm}$$

El momento máximo ocurre para $x=a$, es decir $x=0,0603 \text{ m}$, es decir, el momento máximo ocurre en el punto medio, que es el mismo que el punto de aplicación de la fuerza.

Obteniendo así nuestro diagrama de esfuerzos:

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

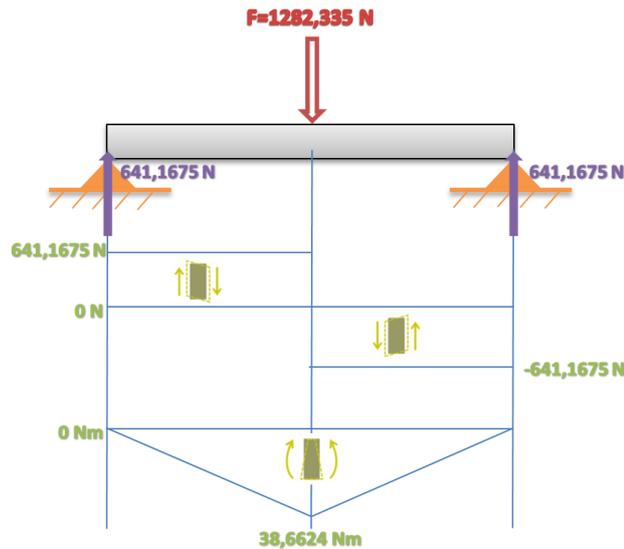


Figura 69. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores adaptado al eje del par E. Fuente: elaboración propia.

En este caso, como en el anterior, se puede observar en la *Figura 69* que la sección peligrosa es el punto medio, ya que tiene el mayor momento flector y además los cortantes tanto por la derecha como por la izquierda, son los mayores.

Por lo tanto estudiaremos la flecha máxima y la restringiremos para que sea como máximo 1mm.

- Flecha máxima:

$$f_{m\acute{a}x} = f_c = \frac{P \cdot b}{9 \cdot E \cdot I \cdot l \cdot \sqrt{3}} \cdot (l^2 - b^2)^{\frac{3}{2}}$$

Que ocurre para $x = \sqrt{\frac{l^2 - b^2}{3}} = \sqrt{\frac{0,1206^2 - 0,0603^2}{3}} = 0,0603\text{m}$, es decir, ocurre en el punto medio de la barra y punto de aplicación de la fuerza.

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{1282,335\text{N} \cdot 60,3\text{mm}}{9 \cdot \frac{193000\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot I \cdot 120,6\text{mm} \cdot \sqrt{3}} \cdot ((120,6\text{mm})^2 - (60,3\text{mm})^2)^{3/2} = 1\text{ mm}$$

Despejando la inercia de la fórmula de flecha máxima obtenemos:

$$I = 242,7979\text{ mm}^4$$

Seleccionaremos un perfil circular, siempre y cuando la estructura de nuestro mecanismo

pueda soportar la carga impuesta sobre el mismo.

Si despejamos el radio de la fórmula de la inercia del círculo:

$$I = \frac{\pi}{4} \cdot R^4$$

$$I = 352,74795 \text{ mm}^4 = \frac{\pi}{4} \cdot R^4$$

$$R = 4,19\text{mm}$$

Por lo tanto, para el eje que une el balancín con la bancada, obtenemos un diámetro de 8,38 mm, como no hay rodamientos para este diámetro, escogeremos un diámetro del eje de 9 mm como mínimo, siempre que existan rodamientos que soporten la capacidad de carga solicitada y con un diámetro interior de 9mm.

Finalmente estudiaremos el eje que corresponde al par A, que une la bancada con la manivela (barra S), cuya fuerza máxima es 1310,801 N. Como podemos observar, es el par que soporta la máxima fuerza de todas.

Consultando el Prontuario, mostrado anteriormente en la *Figura 44*, y particularizando para nuestro caso:

- La longitud del eje es de 0,10 m, es decir, $l = 0,10 \text{ m}$
- La distancia desde los apoyos a la fuerza puntual es de 0,05 m, es decir, $a = b = 0,05 \text{ m}$.
- La magnitud de la fuerza es de 1310,801 N, es decir, $P = 1310,801 \text{ N}$.

A partir de aquí podemos calcular:

- Reacciones en los extremos:

$$R_{izquierda_y} = R_{derecha_y} = \frac{P \cdot a}{l} = \frac{1310,801 \cdot 0,05}{0,10} = 655,4005 \text{ N}$$

- Los esfuerzos cortantes: volvemos a dividir el eje en dos mitades con diferentes esfuerzos cortantes:

$$V_{izquierda} = \frac{P \cdot b}{l} = \frac{1310,801 \cdot 0,05}{0,10} = 655,4005 \text{ N}$$

$$V_{derecha} = -\frac{P \cdot a}{l} = -\frac{1310,801 \cdot 0,05}{0,10} = -655,4005 \text{ N}$$

- Los momentos flectores:

$$M_{izquierda} = \frac{P \cdot b}{l} \cdot x = 655,4005 \cdot x \text{ Nm}$$

$$M_{derecha} = \frac{P \cdot a}{l} \cdot (l - x) = 655,4005 \cdot (0,14 - x) \text{ Nm}$$

Siendo el momento flector máximo:

$$M_{Máx} = M_{punto\ medio} = \frac{P \cdot a \cdot b}{l} = 655,4005 \cdot 0,05 = 32,77 \text{ Nm}$$

El momento máximo ocurre para $x=a$, es decir $x=0,05$ m, es decir, el momento máximo ocurre en el punto medio, que es el mismo que el punto de aplicación de la fuerza.

Obteniendo así nuestro diagrama de esfuerzos:

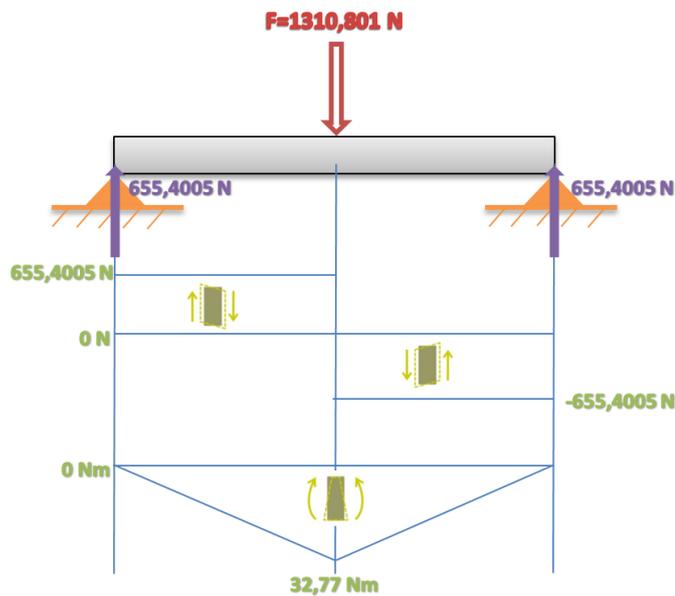


Figura 70. Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores adaptado al eje del par A. Fuente: elaboración propia.

En este caso, como en el anterior, se puede observar en la Figura 70 que la sección peligrosa es el punto medio, ya que tiene el mayor momento flector y además los cortantes tanto por la derecha como por la izquierda, son los mayores.

Por lo tanto estudiaremos la flecha máxima y la restringiremos para que sea como máximo 1mm.

- Flecha máxima:

$$f_{m\acute{a}x} = f_c = \frac{P \cdot b}{9 \cdot E \cdot I \cdot l \cdot \sqrt{3}} \cdot (l^2 - b^2)^{\frac{3}{2}}$$

Que ocurre para $x = \sqrt{\frac{l^2 - b^2}{3}} = \sqrt{\frac{0,10^2 - 0,05^2}{3}} = 0,05m$, es decir, ocurre en el punto medio de la barra y punto de aplicación de la fuerza.

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{1310,801 \cdot 50mm}{9 \cdot \frac{193000N}{mm^2} \cdot I \cdot 100mm \cdot \sqrt{3}} \cdot ((100mm)^2 - (50mm)^2)^{3/2} = 1 mm$$

Despejando la inercia de la fórmula de flecha máxima obtenemos:

$$I = 141,494 mm^4$$

Seleccionaremos un perfil circular, siempre y cuando la estructura de nuestro mecanismo pueda soportar la carga impuesta sobre el mismo.

Si despejamos el radio de la fórmula de la inercia del círculo:

$$I = \frac{\pi}{4} \cdot R^4$$

$$I = 141,494 mm^4 = \frac{\pi}{4} \cdot R^4$$

$$R = 3,66mm$$

Por lo tanto, para el eje que une la manivela con la bancada, obtenemos un diámetro de 7,32 mm, como no hay rodamientos para este diámetro, escogeremos un diámetro del eje de 8 mm como mínimo, siempre que existan rodamientos que soporten la capacidad de carga solicitada y con un diámetro interior de 8mm.

Por lo tanto, el tamaño mínimo de los ejes será:

PARES	DIÁMETRO EJES (mm)
PAR A	8
PAR B	9
PAR D	9
PAR E	9

Tabla 16. Resumen diámetro de los ejes calculados. Fuente: elaboración propia.

3.6.3. CÁLCULO DE RODAMIENTOS.

Para calcular los rodamientos que necesitamos poner en los pares rotativos, supondremos que la manivela gira a 2 rad/s. Simularemos nuestro mecanismo, una vez fijados los pesos de las barras, insertando una fuerza en el punto C de apoyo del pie, que es donde se ejercerá toda la fuerza del peso, supondremos que podrán utilizar el mecanismo cualquier persona, por lo que sobredimensionaremos por si acaso, pondremos una fuerza debida a 150kg, como estamos simulando medio mecanismo, diseñaremos para que nuestro diseño pueda soportar 300kg. Por lo tanto la fuerza que introduciremos será de $150 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1.470 \text{ N}$.

Siempre que se diseña hay que tener en cuenta un coeficiente de seguridad, que es el cociente entre la capacidad máxima teórica del diseño y el valor real de la exigencia a la que se verá sometido, el coeficiente es mayor que uno e indica la capacidad en exceso a la que se sobredimensiona por encima de la exigencia que se le solicitará. En este caso tomaremos un coeficiente de seguridad de 1,5. Por lo que simularemos con una fuerza de $1.470 \text{ N} \cdot 1,5 = 2205 \text{ N}$

El esfuerzo en los pares no se ve modificado por la distancia de los puntos E-F, además comprobaremos que los esfuerzos mayores se producen con la manivela de mayor longitud y por lo tanto utilizaremos los datos obtenidos mediante la simulación con una manivela de 0,27 m para obtener el rodamiento que necesitamos.

Necesitaremos unos rodamientos radiales, que soporten esfuerzos de dirección normal a la dirección que pasa por el centro de su eje.

Simulando el diseño con la manivela de longitud 0,27 m y con una fuerza vertical de 1.470 N aplicada en el punto C, obtenemos los siguientes esfuerzos en los pares:

(manivela 0,27 m)	máxima fuerza (N)
PUNTO A	1310,801
PUNTO B	1298,502
PUNTO D	1226,672
PUNTO E	1282,335

Tabla 17. Resultados de la fuerzas en los pares medidas en Newton. Longitud de la manivela 0,27 m. Fuente: elaboración propia.

Como podemos observar en la Tabla 17, la fuerza máxima la obtenemos en el punto A y es de 1310,801 N.

Simulando el mecanismo para la manivela 0,22m y con una fuerza en el punto C correspondiente a 150kg, con un coeficiente de seguridad de 1,5 (2205N), obtenemos los

siguientes resultados en los pares:

(manivela 0,22 m)	máxima fuerza (N)
PUNTO A	1272,518
PUNTO B	1260,330
PUNTO D	1190,910
PUNTO E	1247,504

Tabla 18. Resultados de la fuerzas en los pares medidas en Newton. Longitud de la manivela 0,22 m. Fuente: elaboración propia.

Como podemos observar en la Tabla 18 la fuerza máxima con la manivela 0,22 m es de 1272,518 N correspondiente al punto A. Sin embargo, este valor es menor a la fuerza máxima obtenida para una manivela de 0,27 m, por ello realizaremos los cálculos de rodamientos en la condición más desfavorable, que es con la manivela mayor.

El rodamiento que seleccionaremos, serán rodamientos oscilantes de bolas o de rótula, ya que son rodamientos que soportan cargas radiales, que son las que principalmente tiene que soportar, además soportan cargas axiales pequeñas. Este tipo de rodamientos, absorben los momentos de enlace, provocando que no existan dichos momentos gracias a que son auto-orientables. Asimismo este tipo de rodamientos junto con los rígidos de bolas son los que pueden alcanzar las velocidades más altas.

El tamaño de nuestro rodamiento no lo podemos calcular según las capacidades de carga estática (C_0), que se define como la carga estática que produce una deformación permanente total del elemento rodante y del camino de rodadura, que es aproximadamente igual al 0,0001 del diámetro del elemento rodante, ya que no cumple ninguna de las siguientes condiciones:

- El rodamiento está estacionario y está sometido a cargas continuas o intermitentes (de choque).
- El rodamiento efectúa lentos movimientos de oscilación o alineación bajo carga.
- El rodamiento gira bajo carga a velocidades muy bajas ($n < 10\text{rpm}$) y solo se requiere que tenga una vida útil corta.
- El rodamiento gira y tiene que soportar elevadas cargas de choque, además de las cargas de funcionamiento normales.

Por lo tanto, el tamaño del rodamiento se seleccionará según las capacidades de carga dinámica (C), que se utiliza en los cálculos para rodamientos sometidos a esfuerzos dinámicos, es decir, que giran bajo carga. La capacidad de carga estática expresa la carga que dará una vida nominal de un millón de revoluciones y está tabulado en los documentos que facilitan los fabricantes de rodamientos.

Además, para calcular el tamaño de los rodamientos mediante la capacidad de carga dinámica necesitamos saber la vida que tendrá nuestro rodamiento, la vida (L), se define como el número de revoluciones o de horas de funcionamiento a una velocidad determinada que el rodamiento puede soportar antes de que se manifieste el primer síntoma de fatiga del metal (desconchado, descascarillado) en uno de sus aros o elementos rodantes.

Primero calculamos la carga dinámica equivalente (P), la cual se define como la carga hipotética (radial para los rodamientos radiales y axial para los rodamientos axiales) que, de ser aplicada, causaría en el rodamiento las mismas deformaciones permanentes que la carga real.

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

Siendo:

- P : la carga dinámica equivalente medida en kN
- X : el factor de carga radial del rodamiento
- F_r : la carga radial real del rodamiento medida en kN
- Y : el factor de carga axial del rodamiento
- F_a : la carga axial real del rodamiento medida en kN

Teniendo en cuenta que la carga que soportan los rodamientos es únicamente radial, ya que en nuestro diseño la fuerza axial es nula ($F_a = 0$). Siempre que el valor de la fuerza axial es nulo, el factor de carga radial del rodamiento alcanza el valor 1 ($X = 1$), por lo que la carga estática equivalente es igual a la fuerza radial real del rodamiento:

$$P = F_r$$

La carga radial real del rodamiento coincide con la fuerza máxima a la que está sometido cada par en nuestro diseño, en este caso comenzaremos con el par A y el valor de su fuerza máxima es de 1310,801 N. Obteniendo así:

$$P = F_r = 1310,801 \text{ N} = 1,310801 \text{ kN}$$

A continuación calcularemos la vida nominal del rodamiento, que según la norma ISO 281:1990 es:

$$L = L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Siendo:

- L_{10} : la vida nominal (con un 90% de fiabilidad), en millones de revoluciones.

- C : la capacidad de carga dinámica, en kN.
- P : la carga dinámica equivalente del rodamiento, en kN.
- p : el exponente de la ecuación de vida, cuyo valor es 3 para rodamientos de bolas y $10/3$ para rodamientos de rodillos.

Cuando la velocidad de giro (n) es constante suele ser preferible calcular la vida expresada en horas de funcionamiento, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$L_h = L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_{10}$$

Siendo:

- L_{10h} : la vida nominal (con un 90% de fiabilidad), en horas de funcionamiento.
- L_{10} : la vida nominal (con un 90% de fiabilidad), en millones de revoluciones.
- n : la velocidad de giro, en revoluciones por minuto (rpm).

Para poder calcular la vida, debemos de realizar una estimación de las horas de uso y de cada cuántos años queremos que haya que cambiar los rodamientos antes de que se observe la primera señal de fatiga.

Supondremos que nuestra máquina podrá usarse desde las 8 de la mañana hasta las 10 de la noche por lo que se utilizaría 14 horas al día, además queremos cambiar los rodamientos cada 10 años, para que su mantenimiento no sea muy frecuentemente. Suponemos que la velocidad a la que girará será a 2 revoluciones por segundo que es la velocidad a la que hemos realizado nuestros ensayos y pruebas. Por lo tanto:

$$10 \text{ años} \cdot \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \cdot \frac{14 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hora}} \cdot \frac{2 \text{ revoluciones}}{1 \text{ s}} = 3,6792 \cdot 10^8 \text{ rev}$$

Como las unidades de la vida nominal es en millones de revoluciones:

$$\frac{3,6792 \cdot 10^8 \text{ rev}}{10^6} = 367,92 \text{ millones de rev.} = L$$

Como tenemos la velocidad de giro de nuestro rodamiento, también podemos expresar la vida nominal en horas de funcionamiento:

$$L_h = L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_{10}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 2} \cdot 367,92 = 3,066 \cdot 10^6 \text{ horas}$$

Como ya tenemos la vida nominal del rodamiento, podemos despejar de la formula la

capacidad de carga dinámica, teniendo en cuenta que nuestro rodamiento es de bolas, por lo que p será igual a 3.

$$L = L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

$$367,92 \text{ millones de rev.} = \left(\frac{C}{1,310801 \text{ kN}}\right)^3$$

Despejando obtenemos:

$$C = 9,39 \text{ kN}$$

Con este valor de la capacidad de carga dinámica, podemos obtener el rodamiento que perseguimos introduciéndonos en el catálogo del fabricante de rodamientos que hemos seleccionado, en este caso SKF. Tenemos que tener en cuenta que el diámetro interior tiene que ser igual o mayor al del eje de la unión, fijado anteriormente y con un valor mínimo de 8mm.

Nuestro rodamiento de bolas a rótula tendrá el agujero del eje cilíndrico, teniendo las siguientes medidas importantes:

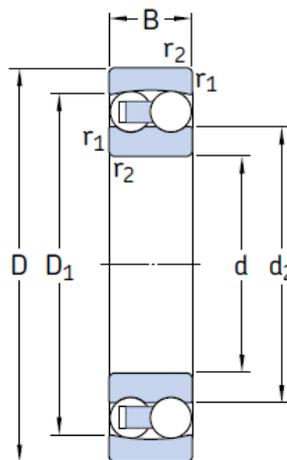


Figura 71. Medidas importantes para rodamientos de bolas a rótula con agujero cilíndrico. Fuente: catálogo SKF.

Del catálogo de SFK en el apartado de rodamientos de bolas a rótula, obtenemos la siguiente tabla, que nos indica, para cada dimensión de rodamiento, la capacidad de carga máxima que soporta, su carga límite de fatiga, las velocidades de referencia y límite, la masa y finalmente las designaciones del rodamiento, ya sea con agujero cilíndrico o

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

cónico:

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades		Masa	Designaciones	
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		Rodamiento con agujero cilíndrico	agujero cónico
mm			kN		kN	rpm		kg	-	
5	19	6	2,51	0,48	0,025	63 000	45 000	0,009	135 TN9	-
6	19	6	2,51	0,48	0,025	70 000	45 000	0,009	126 TN9	-
7	22	7	2,65	0,56	0,029	63 000	40 000	0,014	127 TN9	-
8	22	7	2,65	0,56	0,029	60 000	40 000	0,014	108 TN9	-
9	26	8	3,90	0,82	0,043	60 000	38 000	0,022	129 TN9	-
10	30	9	5,53	1,18	0,061	56 000	36 000	0,034	1200 ETN9	-
	30	14	8,06	1,73	0,090	50 000	34 000	0,047	2200 ETN9	-
12	32	10	6,24	1,43	0,072	50 000	32 000	0,040	1201 ETN9	-
	32	14	8,52	1,90	0,098	45 000	30 000	0,053	2201 ETN9	-
	37	12	9,36	2,16	0,12	40 000	28 000	0,067	1301 ETN9	-
	37	17	11,7	2,70	0,14	38 000	28 000	0,095	2301	-
15	35	11	7,41	1,76	0,09	45 000	28 000	0,049	1202 ETN9	-
	35	14	8,71	2,04	0,11	38 000	26 000	0,060	2202 ETN9	-
	42	13	10,8	2,60	0,14	34 000	24 000	0,094	1302 ETN9	-
	42	17	11,9	2,90	0,15	32 000	24 000	0,12	2302	-
17	40	12	8,84	2,20	0,12	38 000	24 000	0,073	1203 ETN9	-
	40	16	10,6	2,55	0,14	34 000	24 000	0,088	2203 ETN9	-
	47	14	12,7	3,40	0,18	28 000	20 000	0,12	1303 ETN9	-
	47	19	14,6	3,55	0,19	30 000	22 000	0,16	2303	-
20	47	14	12,7	3,4	0,18	32 000	20 000	0,12	1204 ETN9	1204 EKTN9
	47	18	16,8	4,15	0,22	28 000	20 000	0,14	2204 ETN9	-
	52	15	14,3	4	0,21	26 000	18 000	0,16	1304 ETN9	-
	52	21	18,2	4,75	0,24	26 000	19 000	0,22	2304 TN	-
25	52	15	14,3	4	0,21	28 000	18 000	0,14	1205 ETN9	1205 EKTN9
	52	18	16,8	4,4	0,23	26 000	18 000	0,16	2205 ETN9	2205 EKTN9
	62	17	19	5,4	0,28	22 000	15 000	0,26	1305 ETN9	1305 EKTN9
	62	24	27	7,1	0,37	22 000	16 000	0,34	2305 ETN9	-

Figura 72. Tabla de rodamientos a rótula ofrecidos por SKF, para rodamientos con d entre 5 y 25 mm. Fuente: Catálogo SKF.

Escogemos la tabla con el diámetro del eje entre 5 y 25 mm ya que nuestro eje será de 8 mm como mínimo. Como podemos observar, el rodamiento cuyo eje es de 8mm su capacidad de carga dinámica máxima es de 0,56 kN por lo que no podemos escoger ese rodamiento, ya que tiene una capacidad de carga dinámica menor que la solicitada. Nos tenemos que ir a un rodamiento de 12 mm de diámetro de eje cuya capacidad de carga dinámica es de 11,7 kN, ya que es el rodamiento más pequeño cuya capacidad de carga estática es mayor que la calculada, 9,39kN. Por lo que en el punto A necesitaremos el rodamiento 2301 cuyo diámetro exterior es de 37mm, su diámetro interior es de 12 mm y su anchura es de 17mm.

Calcularemos un rodamiento para cada par, para ajustar los rodamientos en cada par para que sean lo menor posible, aunque no variarán mucho ya que la magnitud de la fuerza es parecida en todos los pares.

Consideraremos la misma estimación de vida para todos los rodamientos, por lo que, en cada par sustituiremos P por el valor de la fuerza máxima y despejaremos la capacidad de carga estática con la que entraremos en la tabla de rodamientos a rótula de SKF (Figura 72. Tabla de rodamientos a rótula ofrecidos por SKF, para rodamientos con d entre 5 y 25 mm. Fuente: Catálogo SKF.) para obtener el rodamiento adecuado, siempre que cumpla que el eje sea como mínimo de 10mm y la capacidad de carga estática del rodamiento sea mayor de la calculada.

Para el punto B, obtenemos que la fuerza máxima en ese par tiene un valor de 1298,502N como podemos observar en la Tabla 18.

$$367,92 \text{ millones de rev.} = \left(\frac{C}{1,298502kN} \right)^3$$

Despejando de la fórmula de la vida nominal la capacidad de carga dinámica, obtenemos:

$$C = 9,30 \text{ kN}$$

Como podemos observar, el rodamiento cuyo eje es de 9mm su capacidad de carga dinámica es como máximo de 8,06 kN por lo que no podemos escoger ese rodamiento, ya que tiene una capacidad de carga dinámica menor que la calculada. Nos tenemos que ir a un rodamiento de 12 mm de diámetro de eje cuya capacidad de carga dinámica es de 9,36 kN, ya que es el rodamiento más pequeño cuya capacidad de carga estática es mayor que la calculada, 9,30kN. Por lo que en el punto B necesitaremos el rodamiento 1301 ETN9 cuyo diámetro exterior es de 37mm, su diámetro interior es de 12 mm y su anchura es de 12mm.

Para el punto D, obtenemos que la fuerza máxima en ese par tiene un valor de 1226,672 N como podemos observar en la Tabla 18.

$$367,92 \text{ millones de rev.} = \left(\frac{C}{1,226672kN} \right)^3$$

Despejando de la fórmula de la vida nominal la capacidad de carga dinámica, obtenemos:

$$C = 8,7898 \text{ kN}$$

Como podemos observar, el rodamiento cuyo eje es de 10mm su capacidad de carga dinámica es como máximo de 3,90 kN por lo que no podemos escoger ese rodamiento, ya que tiene una capacidad de carga dinámica menor que la calculada. Nos tenemos que ir a un rodamiento de 12 mm de diámetro de eje cuya capacidad de carga dinámica es de 9,36 kN, ya que es el rodamiento más pequeño cuya capacidad de carga estática es mayor que la calculada, 8,7898kN. Por lo que en el punto B necesitaremos el rodamiento 1301 ETN9 cuyo diámetro exterior es de 37mm, su diámetro interior es de 12 mm y su

anchura es de 12mm.

Para el punto E, obtenemos que la fuerza máxima en ese par tiene un valor de 1282,335 N como podemos observar en la Tabla 18.

$$367,92 \text{ millones de rev.} = \left(\frac{C}{1,282335 \text{ kN}} \right)^3$$

Despejando de la fórmula de la vida nominal la capacidad de carga dinámica, obtenemos:

$$C = 9,189 \text{ kN}$$

Como podemos observar, el rodamiento cuyo eje es de 9mm su capacidad de carga dinámica es como máximo de 3,90 kN por lo que no podemos escoger ese rodamiento, ya que tiene una capacidad de carga dinámica menor que la calculada. Nos tenemos que ir a un rodamiento de 12 mm de diámetro de eje cuya capacidad de carga dinámica es de 9,36 kN, ya que es el rodamiento más pequeño cuya capacidad de carga estática es mayor que la calculada, 9,189kN. Por lo que en el punto B necesitaremos el rodamiento 1301 ETN9 cuyo diámetro exterior es de 37mm, su diámetro interior es de 12 mm y su anchura es de 12mm.

Por lo tanto, los rodamientos que necesitamos son:

PARES	RODAMIENTOS NECESITADOS
A	2301
B	1301 ETN9
D	1301 ETN9
E	1301 ETN9

Tabla 19. Tabla resumen de los rodamientos necesitados en cada par. Fuente: Elaboración propia.

Como todos los rodamientos tienen un diámetro interior de 12mm, necesitaremos ejes de 12mm de diámetro. Para ello escogemos un proveedor y escogeremos un eje comercial.

El proveedor escogido es SCHAEFFLER, el cual bajo las marcas INA y FAG, este grupo desarrolla y produce a nivel mundial rodamientos, casquillos de fricción, guías lineales y elementos de motor para la construcción de máquinas, la industria aeroespacial y la industria del automóvil.

De su catálogo de ejes macizos y ejes huecos, adjunto en el ANEXO 10.6. , obtenemos la siguiente tabla de la que escogemos un eje de 12mm de diámetro.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

Ejes macizos

métricos

Serie W

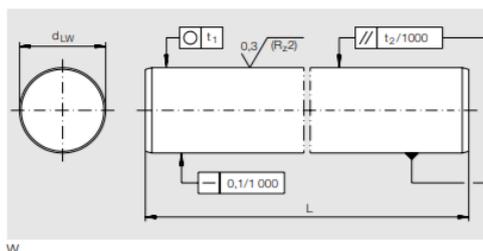


Tabla de medidas - Medidas en mm										
Diámetro del eje d_{LW}	Referencia	Peso kg/m	Longitud $L_{máx}$	Materiales ¹⁾			Tolerancia h6 μm	Redondez t_1 μm	Paralelismo t_2 ²⁾ μm	Profundidad de la capa templada R_{h^3} ³⁾ mín. mm
				Acero bonificado	Acero resistente a la corrosión ⁴⁾					
				X 46 Cr 13	X 90 CrMoV 18					
4	W 4	0,1	2500	●	–	●	0– 8	4	5	0,4
5	W 5	0,15	3600	●	–	–	0– 8	4	5	0,4
6	W 6	0,22	4000	●	●	●	0– 8	4	5	0,4
8	W 8	0,39	4000	●	●	●	0– 9	4	6	0,4
10	W 10	0,61	4000	●	●	●	0– 9	4	6	0,4
12	W 12	0,89	6000	●	●	●	0–11	5	8	0,6
14	W 14	1,21	6000	●	●	●	0–11	5	8	0,6
15	W 15	1,37	6000	●	●	●	0–11	5	8	0,6
16	W 16	1,57	6000	●	●	●	0–11	5	8	0,6
17	W 17	1,78	6000	●	–	–	0–11	5	8	0,6
18	W 18	1,98	6000	●	●	●	0–11	5	8	0,6
20	W 20	2,45	6000	●	●	●	0–13	6	9	0,9
24	W 24	3,55	6000	●	●	●	0–13	6	9	0,9
25	W 25	3,83	6000	●	●	●	0–13	6	9	0,9
30	W 30	5,51	6000	●	●	●	0–13	6	9	0,9
32	W 32	6,3	6000	●	●	●	0–16	7	11	1,5
35	W 35	7,56	6000	●	–	–	0–16	7	11	1,5
40	W 40	9,8	6000	●	●	●	0–16	7	11	1,5
50	W 50	15,3	6000	●	●	●	0–16	7	11	1,5
60	W 60	22,1	6000	●	●	●	0–19	8	13	2,2
80	W 80	39,2	6000	●	●	●	0–19	8	13	2,2

¹⁾ Los ejes se fabrican de forma estándar en acero bonificado
De acero resistente a la corrosión sólo sobre consulta y como ejecución especial.
²⁾ Medición de diferencias de diámetro.
³⁾ Según DIN 6 773, parte 3.
⁴⁾ Reducción de la capacidad de carga para rodamientos lineales a bolas debido a la dureza menor de los ejes
(véase Dureza de la superficie de rodadura en aceros especiales, página 5).

Figura 73. Catálogo INA de ejes macizos y ejes huecos. Fuente: Catálogo INA.

Escogemos el eje cuyo diámetro es 12mm cuya referencia es W12, escogeremos el acero bonificado ya que con los ejes de acero resistente a la corrosión se reduce la capacidad de carga estática y dinámica de los rodamientos a bolas si se utilizan estos ejes como superficie de rodadura, ya que la superficie de rodadura de los ejes tiene menor dureza.

3.7. CÁLCULO DE LA BANCADA.

La bancada es el soporte para las piezas que tiene una unión fija con el suelo. Debe tener la resistencia suficiente para soportar los esfuerzos del sistema manivela-biela-balancín.

Nuestro mecanismo contará con una bancada cuya parte superior debe soportar los esfuerzos de los dos pares E y la parte superior debe soportar las fuerzas de los dos pares A.

3.7.1. CÁLCULO DE LAS ANCHURAS DE LA BANCADA.

Inicialmente, con la ayuda de las medidas antropométricas del estudio realizado en 2003 por Antonio Carmona Benjumea, vamos a calcular las longitudes de las barras que soportarán las uniones entre balancines (pares E) y las uniones entre manivelas (pares A).

Para calcular la anchura de la bancada, antes necesitamos saber la anchura del soporte.

3.7.1.1. CÁLCULO DEL SOPORTE PARA LOS PIES.

Según el estudio antropométrico, el percentil 95 de la longitud del pie es de 279 mm y de la anchura de 110 mm. Teniendo en cuenta que el pie al andar rota hacia fuera con un ángulo aproximadamente de 6° y que el ángulo que forma la vertical con el espacio interóseo entre el segundo y tercer metatarsiano es entre 10° y 18° :

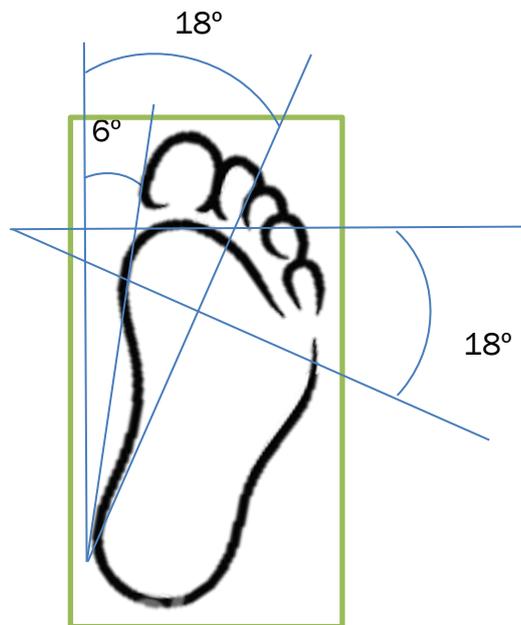


Figura 74. Esquema soporte de los pies con ángulos importantes. Fuente: elaboración propia.

De la Figura 74 obtenemos las siguientes ecuaciones:

$$\text{ancho soporte} = 279 \cdot \text{sen}(6^\circ) + 110 \cdot \text{cos}(18^\circ) = 133,78 \text{ mm}$$

$$\text{largo soporte} = 279 \cdot \text{cos}(6^\circ) = 277,47 \text{ mm}$$

Para no dejar demasiado justo el soporte dejaremos un margen, el ancho del soporte será de 140 mm y el largo del soporte será 300 mm.

3.7.1.2. CÁLCULO DE LA ANCHURA DEL PAR A.

Comenzamos con la unión entre pares A (uniones bancada manivela):

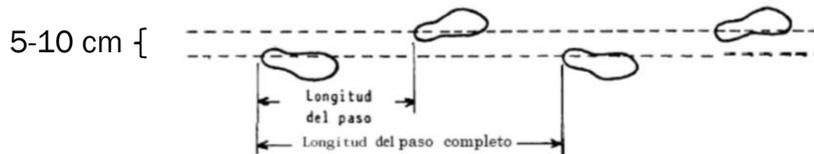


Figura 75. Medida de la base de sustentación. Fuente: <https://es.slideshare.net/kattypalomino3/biomecanica-de-la-marcha-40469619>

Teniendo en cuenta que la distancia entre la base de sustentación de ambos pies es entre 5 y 10 cm, la distancia entre los soportes de ambos pies tendrá 10 cm. Como sabemos los diámetros de la manivela (50mm) y de la biela (70mm):

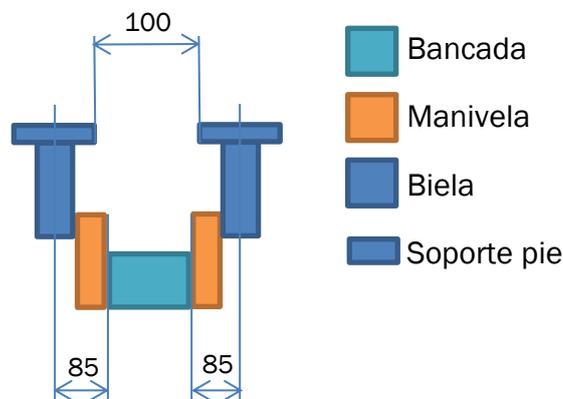


Figura 76. Esquema bancada-manivela-biela (pares A y B). Fuente: elaboración propia.

De la Figura 76 podemos abstraer la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{anchura soporte}}{2} + 100 + \frac{\text{anchura soporte}}{2} = 85 + \text{anchura bancada par A} + 85$$

$$\text{anchura soporte} - 70 = \text{anchura bancada par A}$$

Del punto anterior sabemos que la anchura del soporte es de 140 mm y por lo tanto la

anchura de la bancada del par A es de 70 mm.

3.7.1.3. CÁLCULO DE LA ANCHURA DEL PAR E.

Seguimos calculando la anchura del par E (unión bancada balancín):

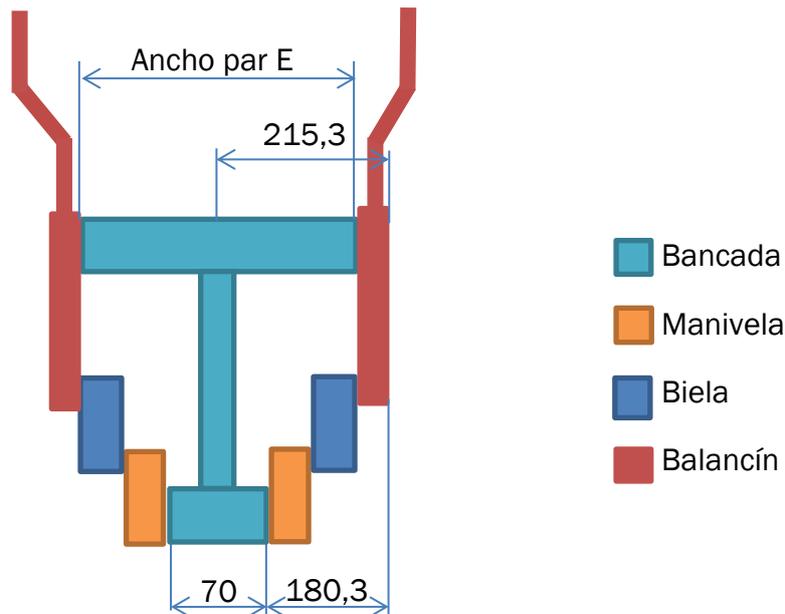


Figura 77. Esquema bancada-manivela-biela-balancín con medidas para calcular el ancho de la bancada (par E). Fuente: elaboración propia.

En la Figura 77 observamos que:

$$\frac{70}{2} + 180.3 = 215.3$$

$$215.3 - 60.3 = \frac{\text{Ancho bancada par E}}{2}$$

$$\text{Ancho bancada par E} = 310 \text{ mm}$$

Del estudio antropométrico obtenemos la anchura entre hombros, el percentil 95 es de 432 mm, sin embargo, como al andar o correr la separación entre brazos es mayor, la separación entre los puntos F de los balancines será de 500 mm.

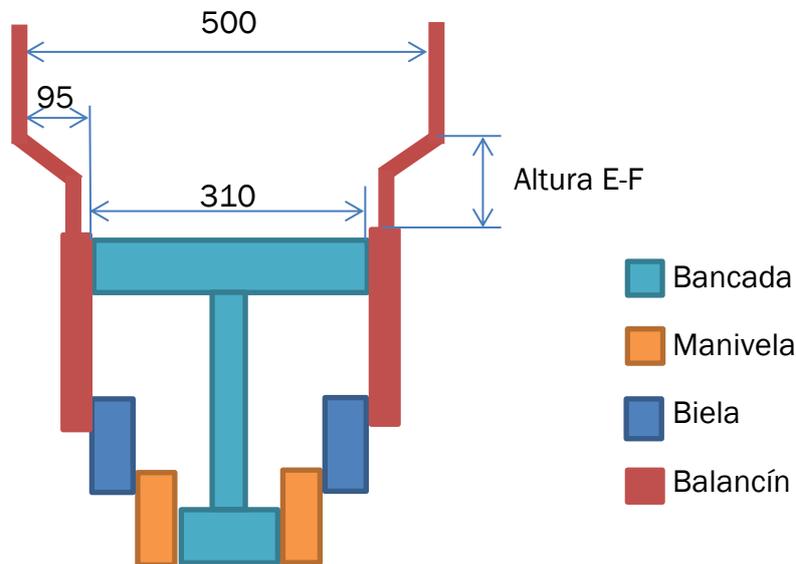


Figura 78. Esquema bancada-manivela-biela-balancín para calcular las dimensiones de la pieza con diámetro más pequeño del balancín.

La altura E-F mínima es de 30cm y la máxima 50cm, por lo que pondremos una goma que permita agarrar mejor la pieza en el punto E y hacia arriba 25 cm. Modificaremos la distancia E-final del balancín y ahora en vez de medir 77 cm, medirá 60 cm, ahora el balancín ha pasado de medir 1,60 a medir 1,43, evitándonos así un gasto de material innecesario. Por estética la altura de la zona inclinada será de 10 cm, quedándonos esa zona de la manivela:

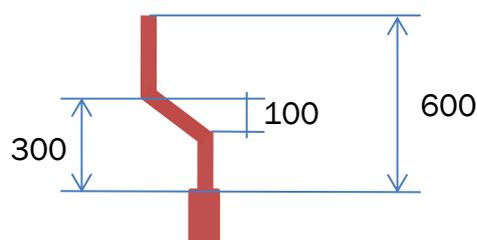


Figura 79. Dimensiones de la zona de diámetro menor del balancín.
Fuente: elaboración propia.

El cambio de longitud del balancín no modifica ningún cálculo anterior, solo el peso de las barras, ya que ahora la zona de diámetro menor del balancín es menor, sin embargo la longitud de esa barra no es 60 cm, ya que debido a la inclinación de una parte, la longitud

es mayor.

La longitud de la parte inclinada es:

$$x = \sqrt{100^2 + 95^2} = 137,93 \text{ mm}$$

Por lo que la longitud de la zona del balancín con diámetro menor será: $200+137,93+30=637,93$ mm.

4. DESARROLLO DE LAS PIEZAS EN AUTODESK INVENTOR

El siguiente paso para el desarrollo del diseño es, una vez concretas las medidas básicas del diseño de la bicicleta elíptica, que es el objeto de este estudio, realizar su modelado en 3 dimensiones (3D).

Con el programa Inventor Professional de Autodesk conseguimos modelar nuestro diseño para que se observe de forma más clara y visual, además este programa nos facilita los planos e indicaciones necesarias tanto para la fabricación de las piezas como del montaje.

Para reconocer más fácilmente a qué pieza corresponde cada subpieza que se realizará, se dividirán en cinco grupos. El número de la subpieza constará de una cifra un punto y otra cifra, la primera cifra corresponderá a la pieza a la cual pertenezca dicha subpieza, por ejemplo la pieza 10.2 es la pieza dos de la manivela (pieza 10). De tal forma que los cinco grupos serán:

NÚMERO DE GRUPO	PIEZA A LA QUE PERTENECEN
10	MANIVELA
20	BIELA
30	BALANCÍN
40	BANCADA
50	SOPORTE PARA PIE

Tabla 20. Grupos en los que están divididas las piezas. Fuente: elaboración propia.

La unión entre piezas se llevará a cabo gracias a un tornillo que se enroscará en un agujero roscado que previamente tendrán los ejes, esto se camuflará con una tapa de plástico, que será de las mismas dimensiones para todo el diseño.

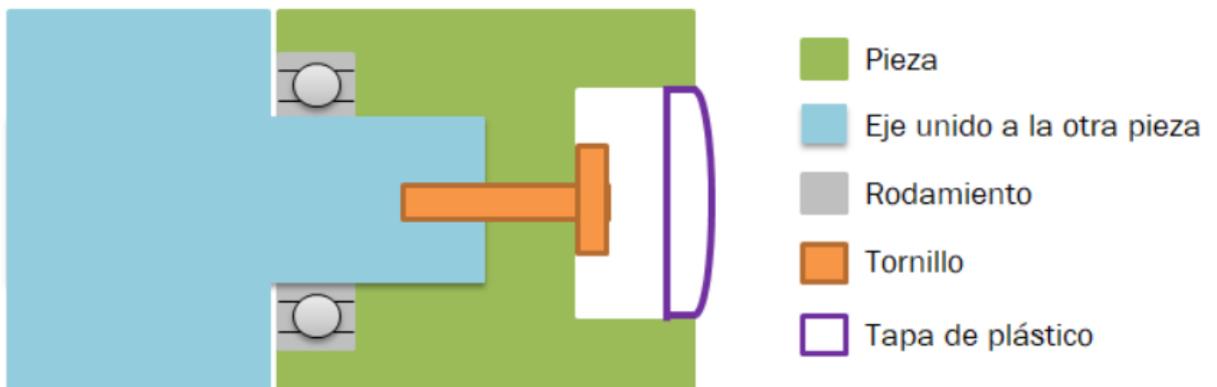


Figura 80. Esquema de la unión entre piezas. Fuente: elaboración propia

4.1. MANIVELA

Para la manivela (pieza 10) sabemos que el tubo base que necesitamos es de 50 mm de diámetro y 2 mm de espesor. La manivela estará constituida de 3 subpiezas:

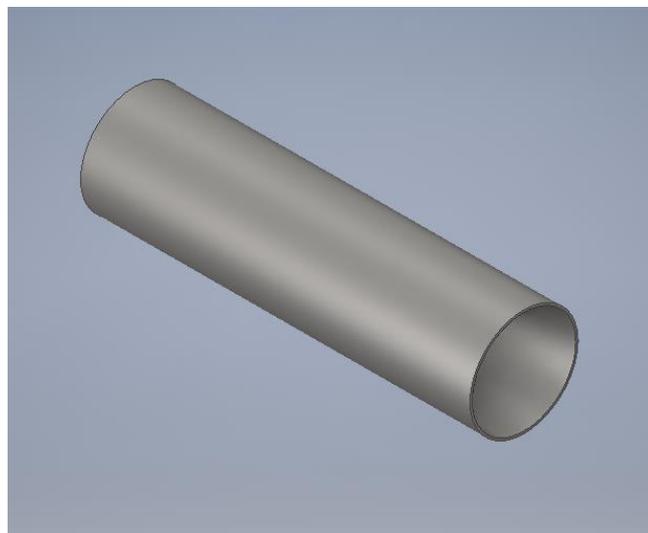


Figura 81. Pieza 10.1. Fuente: elaboración propia.

Una será la pieza base (pieza 10.1.) la cual consta de un tubo de 50x2 mm, que se puede observar en la [Figura 81](#).

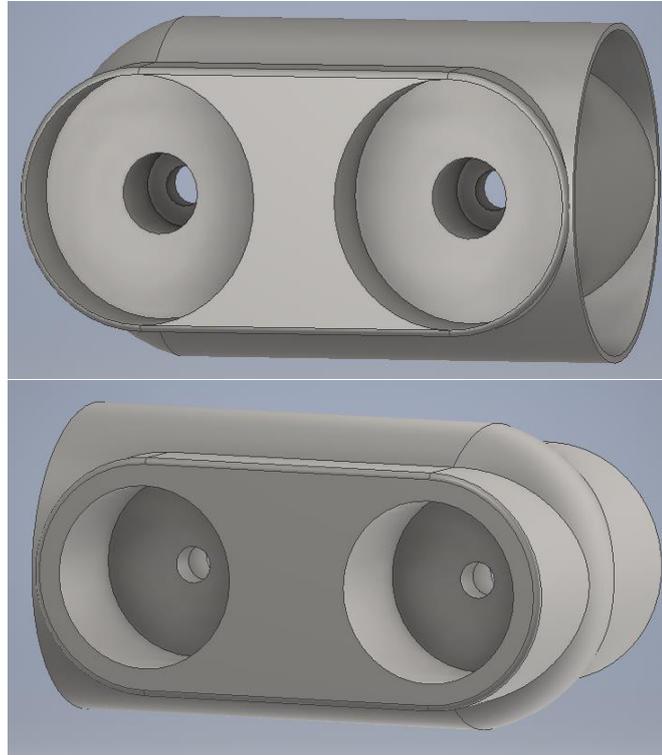


Figura 82. Pieza 10.2. Fuente: elaboración propia.

La siguiente pieza (pieza 10.2.) será la correspondiente al par B, la cual debe tener agujeros para poder introducir los rodamientos y el eje de dicho par, así como el tornillo que une la manivela con el eje de la biela. Dicha pieza está representada en la [Figura 82](#). Como la manivela tiene dos radios efectivos posibles, esta pieza debe contar con dos agujeros para el eje y dos huecos destinados a albergar el rodamiento que une la manivela con la biela.

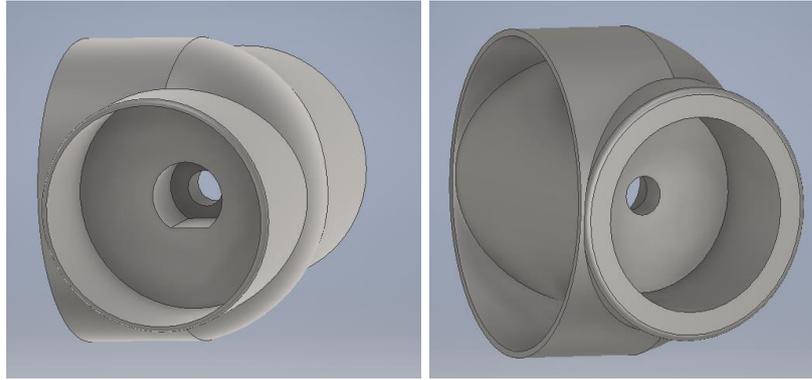


Figura 83. Pieza 10.3. Fuente: elaboración propia.

Finalmente la pieza correspondiente al par A (pieza 10.3.) la cual debe tener también un agujero para el eje de dicho par, para el tornillo que unirá la manivela con la bancada y un hueco para el rodamiento. El eje que introduciremos entre la manivela y la bancada tendrá un rebaje que nos permitirá que las manivelas de nuestro diseño estén desfasadas 180° . Por ello, el agujero por donde se introduce el eje no es completamente redondo, sino que se adapta al rebaje que tendrá el eje.



Figura 84. Eje unión bancada manivela, con rebajes. Fuente: elaboración propia.

El eje unirá ambas manivelas con la bancada, como las manivelas se producirán totalmente idénticas sean para la parte derecha o para la izquierda del mecanismo, el eje del par A tendrá los rebajes igualmente situados, tal y como observamos en la [Figura 84](#). Como este es el único eje que utilizaremos, ya que los ejes correspondientes a los demás pares estarán integrados en alguna pieza, será el único lugar donde hay que doblar el número de rodamientos, por lo tanto tendremos en el par A cuatro rodamientos, dos en la parte izquierda y dos en la derecha, para ambos casos los rodamientos se colocarán en la

unión bancada-eje y en la unión eje-manivela. Por ello, tanto en la zona de la manivela que corresponde al par A como en la zona de la bancada que corresponde al par A tendremos huecos para los rodamientos.

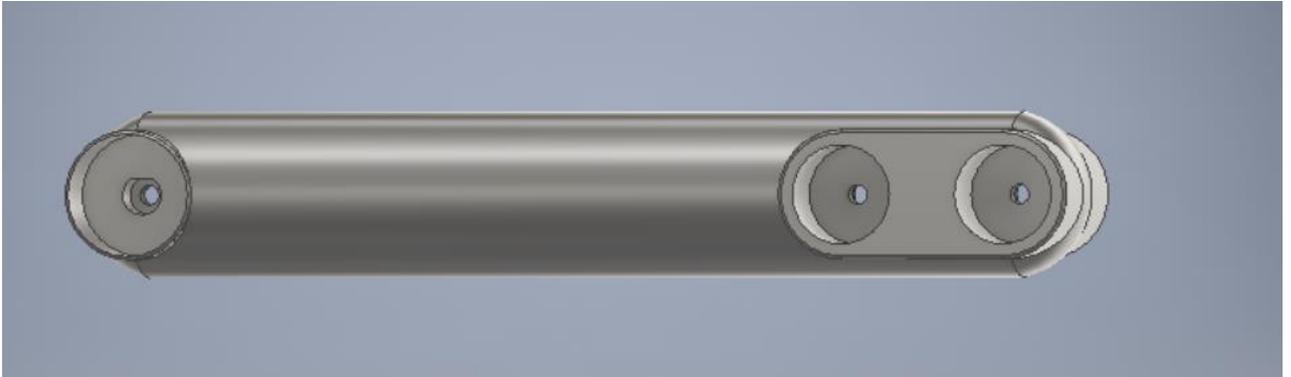


Figura 85. Manivela completa (Pieza 10). Fuente: elaboración propia

Finalmente, al unir las tres subpiezas obtenemos la manivela cuya representación se puede apreciar en la *Figura 85*. En todas las aristas vivas se realiza un empalme por cuestión de seguridad.

4.2. BIELA

Para la Biela (pieza 20) sabemos que el diámetro es de 70 mm y el espesor de 3mm. La biela se divide en tres subpiezas:

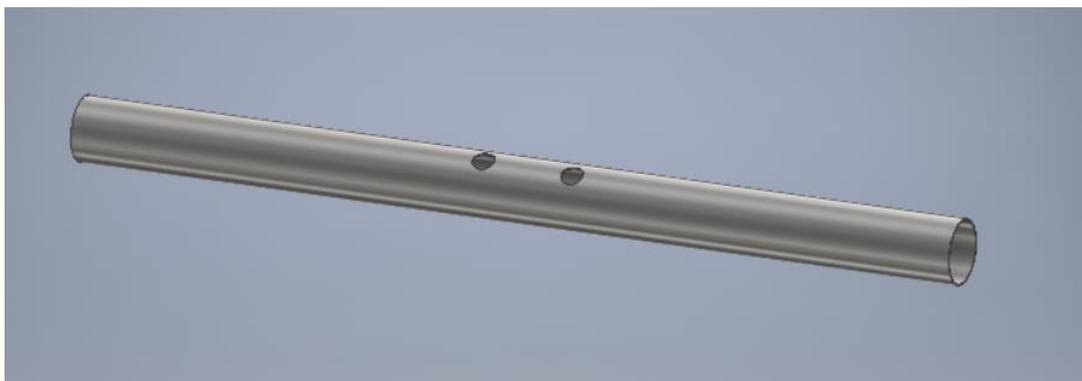


Figura 86. Pieza 20.1. Fuente: elaboración propia.

Una será la pieza base (pieza 20.1.) la cual consta de un tubo de 70x3 mm, que se puede observar en la [Figura 86](#), la cual tiene dos agujeros para poder colocar el soporte para los pies.

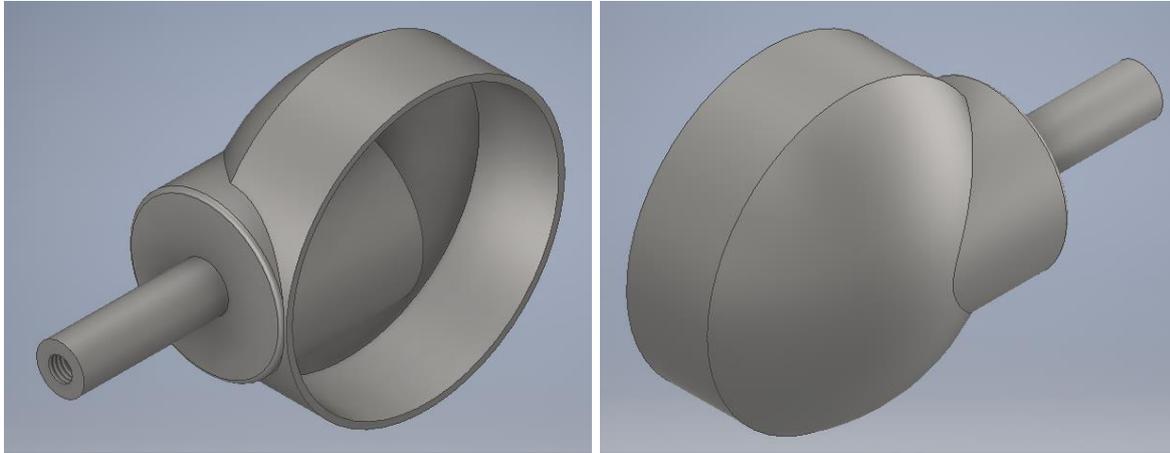


Figura 87. Pieza 20.2. Fuente: elaboración propia.

La siguiente es la correspondiente al par D (pieza 20.2.) la cual contiene un eje sobre el cual se colocará el rodamiento de dicho par y que permitirá el giro del balancín sobre la biela. Se puede observar dicha pieza en la [Figura 87](#).

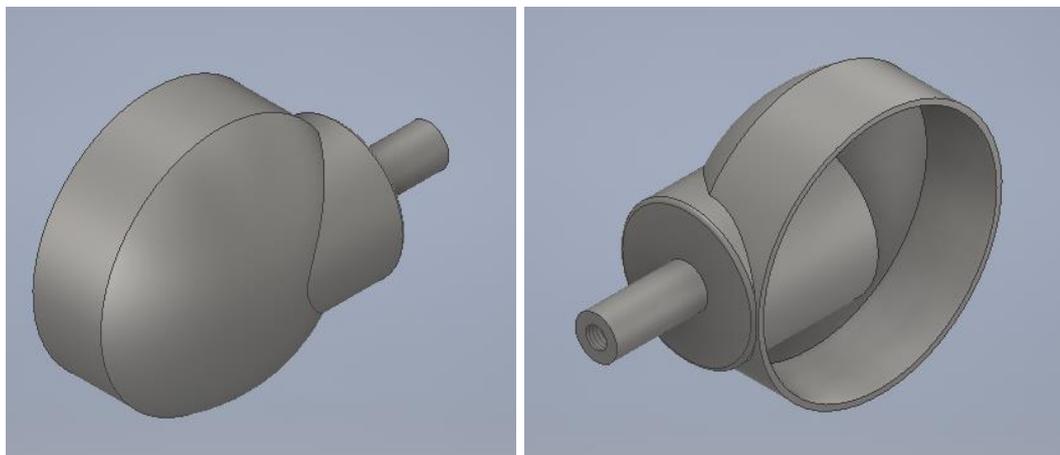


Figura 88. Pieza 20.3. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, en la *Figura 88* podemos observar la pieza correspondiente al par B (pieza 20.3.) la cual contiene un eje sobre el cual se colocará el rodamiento de dicho par y que permitirá el giro de la biela sobre la manivela. La diferencia entre las dos últimas piezas es que debido a los diferentes diámetros de la manivela y el balancín, la longitud del eje es mayor en la pieza correspondiente al par D ya que el diámetro del balancín es mayor.

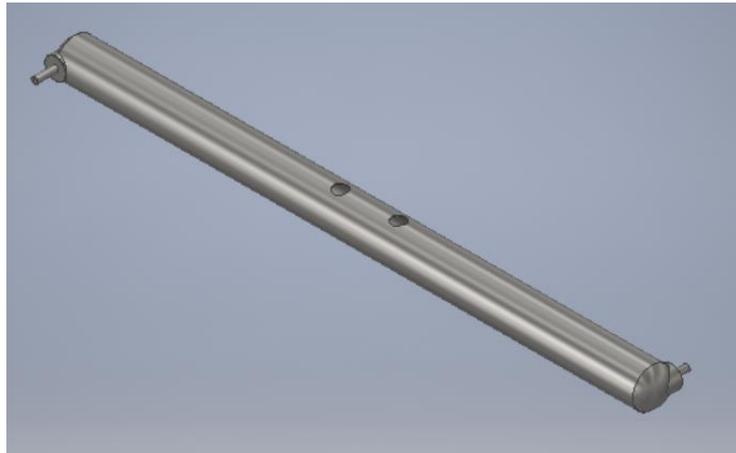


Figura 89. Biela completa (Pieza 20). Fuente: elaboración propia.

Al unir las tres subpiezas obtenemos la biela completa cuya representación se puede apreciar en la *Figura 89*. En todas las aristas vivas se realiza un empalme por cuestión de seguridad.

4.3. BALANCÍN

Para el balancín (pieza 30) sabemos que hay dos partes con dos diámetros muy diferenciados, el diámetro de 60,3 mm y el espesor de 2 mm y la zona para agarrar con las manos cuyo diámetro es de 33 mm y 1,6 mm de espesor. El balancín se divide en cinco subpiezas:

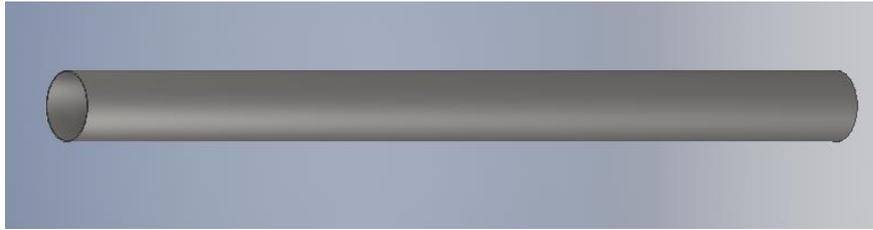


Figura 90. Pieza 30.1. Fuente: elaboración propia.

La primera subpieza (pieza 20.1.) la cual consta de un tubo de 60,3x2 mm, que se puede observar en la *Figura 90*, la cual es la base para las demás.

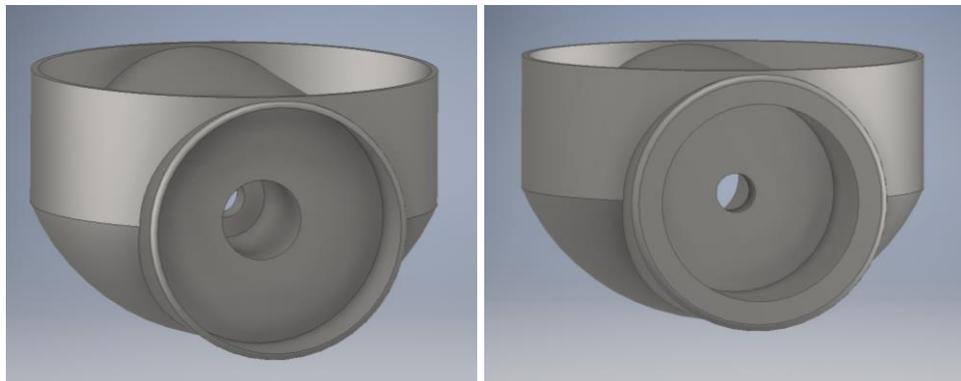


Figura 91. Pieza 30.2. Fuente: elaboración propia.

La siguiente es la correspondiente al par D (pieza 30.2.) la cual contiene un eje sobre el cual se colocará el rodamiento de dicho par y que permitirá el giro del balancín sobre la biela. Se puede observar dicha pieza en la *Figura 91*.

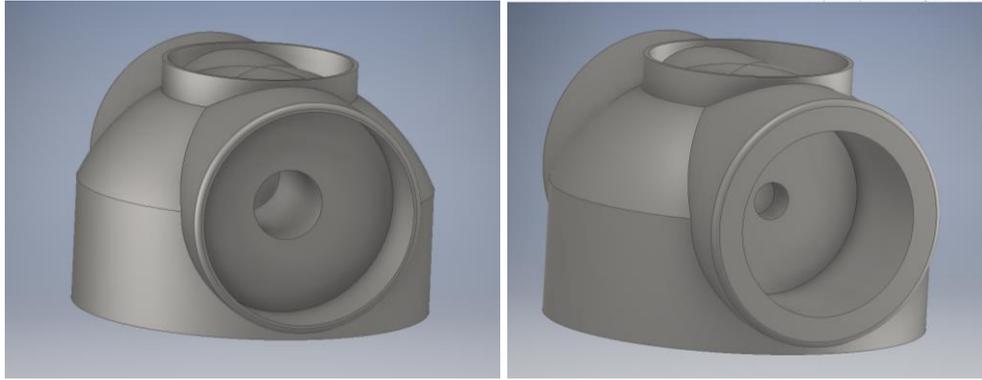


Figura 92. Pieza 30.3. Fuente: elaboración propia.

La siguiente es la correspondiente al par E (pieza 30.3.) la cual contiene un eje sobre el cual se colocará el rodamiento de dicho par y que permitirá el giro del balancín sobre la bancada. Se puede observar dicha pieza en la *Figura 92*.

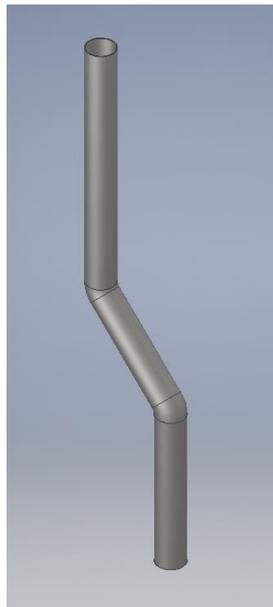


Figura 93. Pieza 30.4. Fuente: elaboración propia.

La pieza 30.4, observable en la *Figura 93*, corresponde a un tubo de diámetro 33 mm y 1,6 mm de espesor, el cual es doblado y es la pieza a la que los usuarios del diseño se agarran con las manos.

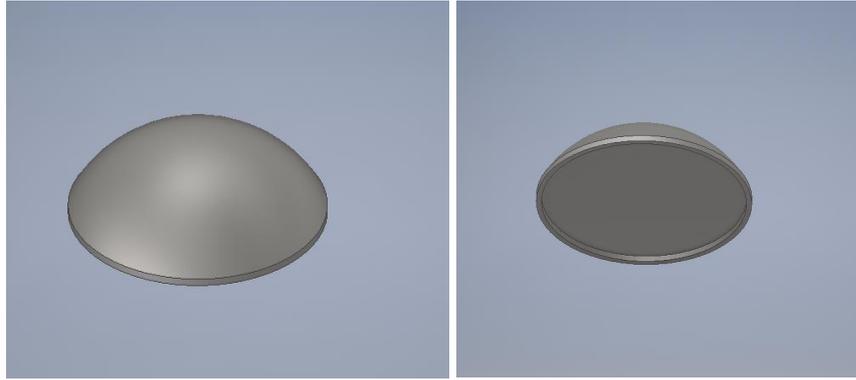


Figura 94. Pieza 30.5. Fuente: elaboración propia.

Finalmente la pieza 30.5., que se puede observar en la [Figura 94](#), se coloca encima del tubo con diámetro menor, para que sea más seguro y evitar así los cortes.



Figura 95. Balancín completo (Pieza 30). Fuente: elaboración propia.

Al unir las cinco subpiezas obtenemos el balancín completo cuya representación se puede apreciar en la [Figura 95](#). En todas las aristas vivas se ha realizado un empalme por cuestión de seguridad.

4.4. BANCADA

Para la bancada (pieza 40) sabemos que hay dos partes con dos diámetros diferentes, el diámetro de la parte que une la bancada con el balancín (par E) es de 100 mm y la zona que une la bancada con la manivela (par A) es de 65 mm. La bancada se divide en diez subpiezas:

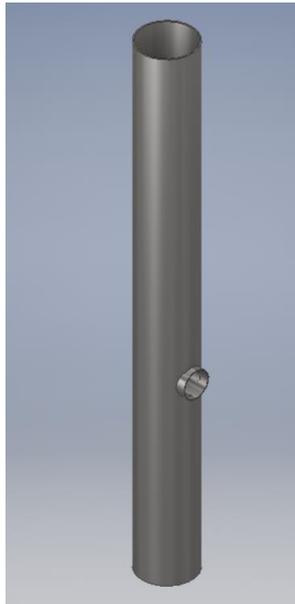


Figura 96. Pieza 40.1. Fuente: elaboración propia.

La primera subpieza, *Figura 96* (pieza 40.1.), consta de un primer tubo de diámetro 100 mm que es la zona que será visible. A la cual se le unirá la pieza 40.7 mediante la pieza 40.4.



Figura 97. Pieza 40.7. Fuente: elaboración propia.

La pieza 40.7, observable en la *Figura 97*, se utilizará para fijar la bancada al suelo, consta de un cilindro de 50 mm con dos huecos para los cilindros transversales de 25 mm cada uno (piezas 40.10., que veremos posteriormente), esta parte irá hormigonada al bajo el suelo hasta el comienzo del cilindro de diámetro 100mm.

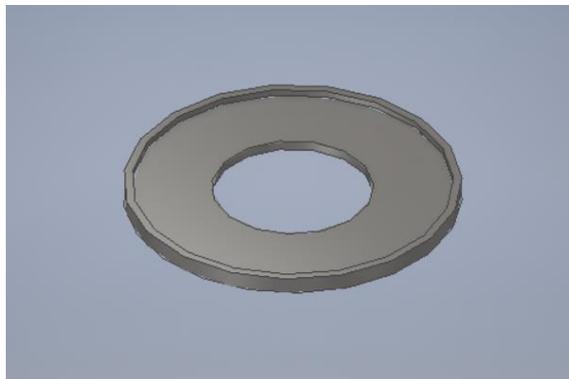


Figura 98. Pieza 40.4. Fuente: elaboración propia.

La pieza 40.4. es con la cual conseguimos unir la pieza 40.1 con la pieza 40.7.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA



Figura 99. Pieza 40.2. Fuente: elaboración propia.

La siguiente subpieza (pieza 40.2.) sigue el mismo modelo que la anterior, consta de un tubo de diámetro 65 mm y 2 mm de espesor, que es la zona que será visible.

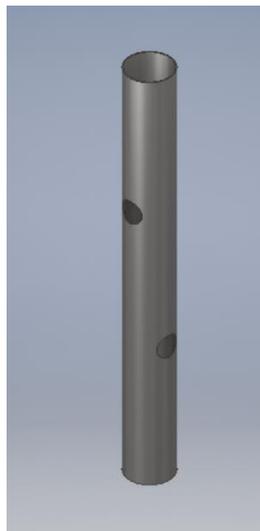


Figura 100. Pieza 40.6. Fuente: elaboración propia.

La pieza 40.6, observable en la Figura 100, se utilizará para fijar la bancada al suelo, consta de un cilindro de 50 mm con dos huecos para los cilindros transversales de 25 mm cada uno (piezas 40.10., que veremos posteriormente), esta parte irá hormigonada al bajo el suelo hasta el comienzo del cilindro de diámetro 65mm.

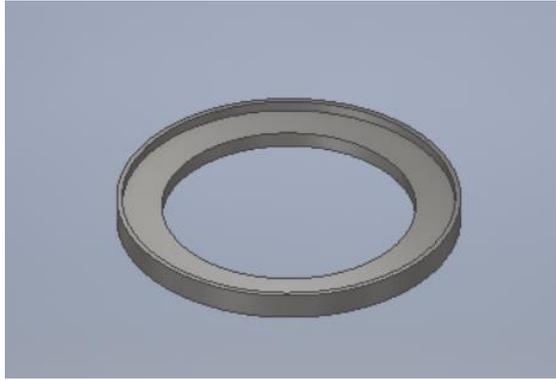


Figura 101. Figura 40.5. Fuente: elaboración propia.

La pieza 40.5. es con la cual conseguimos unir la pieza 40.2 con la pieza 40.6.

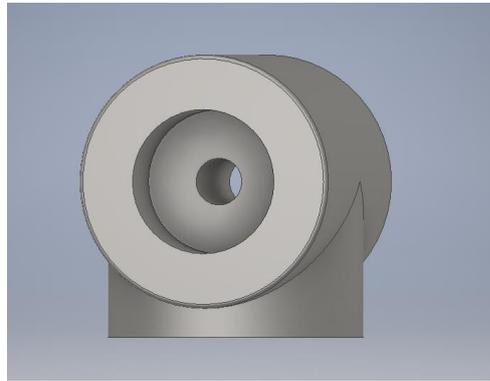


Figura 102. Pieza 40.3. Fuente: elaboración propia.

La pieza 40.3., que se puede observar en la *Figura 102*, corresponde al par A, en el cual se une la manivela con la bancada, tiene un agujero para el eje y dos para los rodamientos que ayudarán a que el giro del eje dentro de la bancada se ejecute de forma correcta.

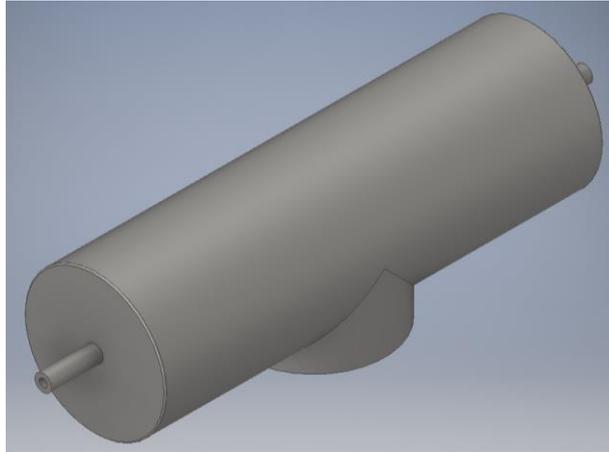


Figura 103. Pieza 40.8. Fuente: elaboración propia.

La siguiente pieza corresponde al par E (pieza 40.8.) es una pieza cilíndrica de 100 mm de diámetro la cual tiene integrados dos ejes que serán la unión de la bancada con el balancín, los ejes tienen un taladro roscado, lo que les permite unirse con el balancín y el rodamiento que se coloca en el balancín permite el giro entre el balancín y la bancada, como ya se explicó en la [Figura 80](#).

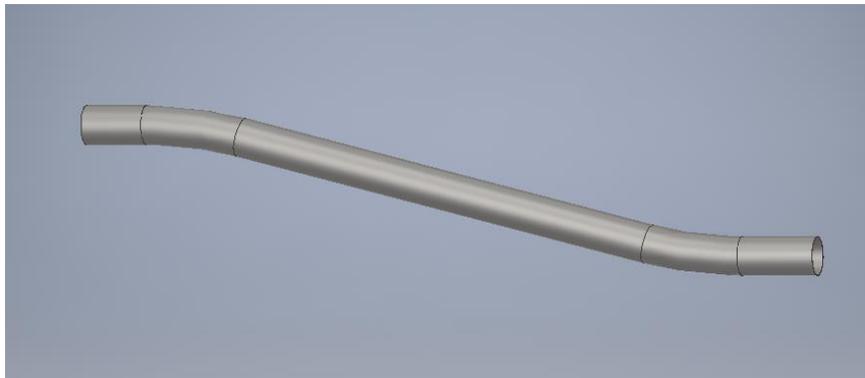


Figura 104. Pieza 40.9. Fuente: elaboración propia.

La pieza 40.9. es una pieza meramente decorativa que une las piezas 40.1. y 40.2. es un tubo con un diámetro 50 mm y un espesor de 2 mm. Dicha pieza se puede observar en la [Figura 104](#).

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

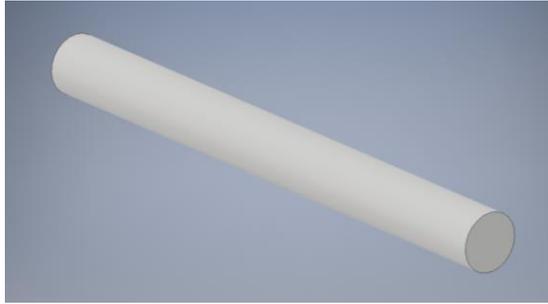


Figura 105. Pieza 40.6. Fuente: elaboración propia.

Finalmente la pieza 40.10. es un cilindro de 25 mm de diámetro del cual se necesita cuatro piezas, dos que se colocan en la pieza 40.1. y los otros dos en la pieza 40.2. en el momento de fijar la bancada al suelo y previamente al hormigonado.



Figura 106. Bancada completa (pieza 40). Fuente: elaboración propia.

Al unir las seis subpiezas obtenemos la bancada completa cuya representación se puede apreciar en la Figura 106. En todas las aristas vivas se ha realizado un empalme por cuestión de seguridad.

4.5. SOPORTE PARA LOS PIES

El soporte para los pies (pieza 50) tiene dos subpiezas, la zona para poner los pies y los cilindros roscados que permiten unir el soporte para los pies con la biela, gracias a los taladros que tiene la biela.

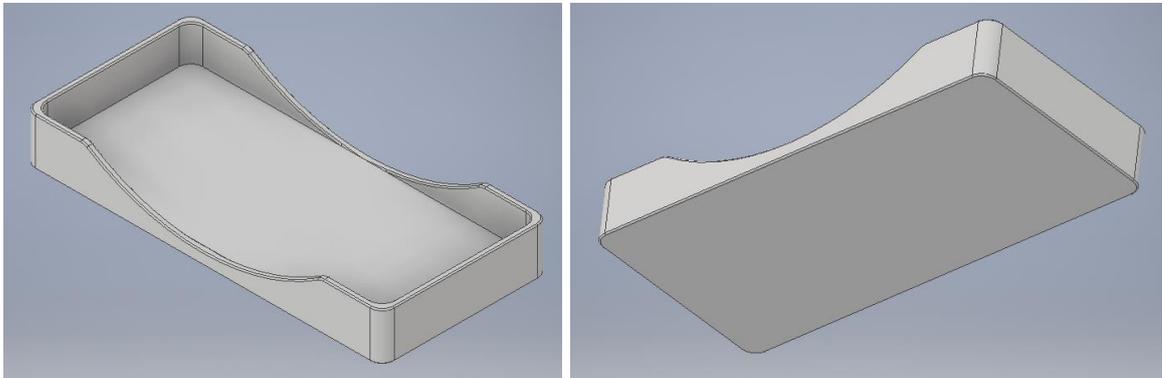


Figura 107. Pieza 50.1. Fuente: elaboración propia.

La pieza 50.1., que se observa en la *Figura 107*, es el soporte para los pies cuyas dimensiones se calcularon previamente.



Figura 108. Pieza 50.2. Fuente: elaboración propia.

Finalmente la pieza 50.2., de la cual necesitamos dos copias, es un cilindro roscado de 24 mm de diámetro que permite la unión entre el soporte y la biela.

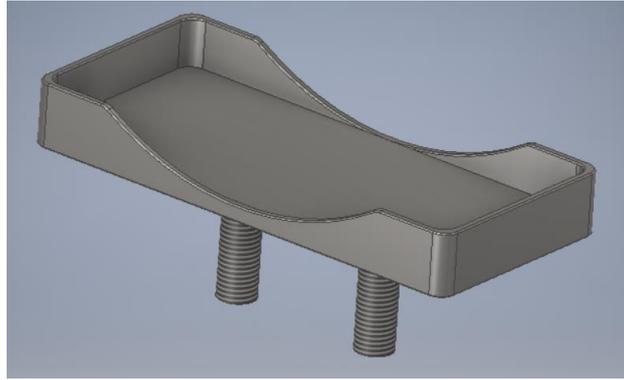


Figura 109. Soporte para los pies completo (Pieza 50). Fuente: elaboración propia.

Al unir las dos subpiezas obtenemos la bancada completa cuya representación se puede apreciar en la *Figura 109*. En todas las aristas vivas se ha realizado un empalme por cuestión de seguridad.

4.6. ENSAMBLAJE:

Para realizar nuestro diseño necesitamos dos manivelas completas (pieza 10), dos bielas completas (pieza 20), dos balancines completos (pieza 30), una bancada completa (pieza 40) y dos soportes de pie (pieza 50).

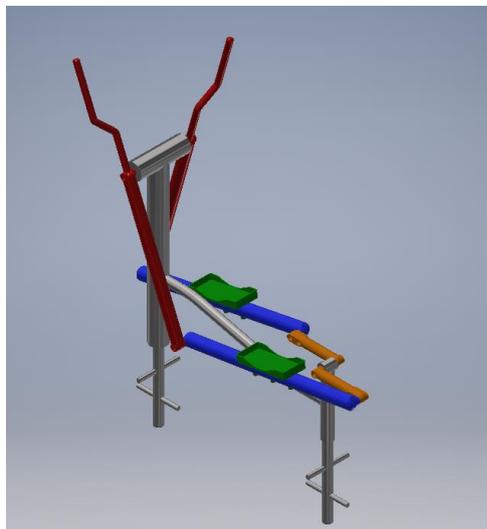


Figura 110. Diseño ensamblado. Fuente: elaboración propia.

Podemos observar en la *Figura 110*, nuestro diseño una vez ensamblado. Para facilitar la visión 3D hemos decidido poner los colores naranja para la manivela, azul para la biela, rojo para el balancín y verde para los soportes de los pies.

5. PROCESO DE PRODUCCIÓN

En este punto se realizará el estudio de la fabricación y el montaje de las diferentes piezas que componen nuestro mecanismo, para ello se realizarán unos diagramas de procesos de cada una de las piezas, y después uno del montaje de dichas piezas, que se realizará en el lugar donde se coloque la máquina finalmente y de forma fija.

Finalmente se desarrollará un desglose de las máquinas necesarias para la fabricación de dichas piezas y las técnicas de unión tales como la soldadura o los tornillos que unen los ejes con las piezas.

5.1. DIAGRAMAS DE PROCESOS DE LAS DIFERENTES PIEZAS

Los diagramas de procesos expresan de forma secuencial las actividades, mediante símbolos normalizados. A continuación desarrollaremos los diagramas de procesos de cada una de las piezas completas del mecanismo.

Hay que tener en cuenta que para la fabricación de una bicicleta elíptica necesitamos, dos manivelas, dos bielas, dos balancines, dos soportes de pies y una bancada, esto sumado a los tornillos, arandelas, piezas de plástico y de goma que tendremos en cuenta en el apartado 5.2.

5.1.1. MANIVELA.

De la manivela necesitamos dos copias para cada bicicleta elíptica, para ello necesitamos producir el siguiente diagrama dos veces por cada bicicleta.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

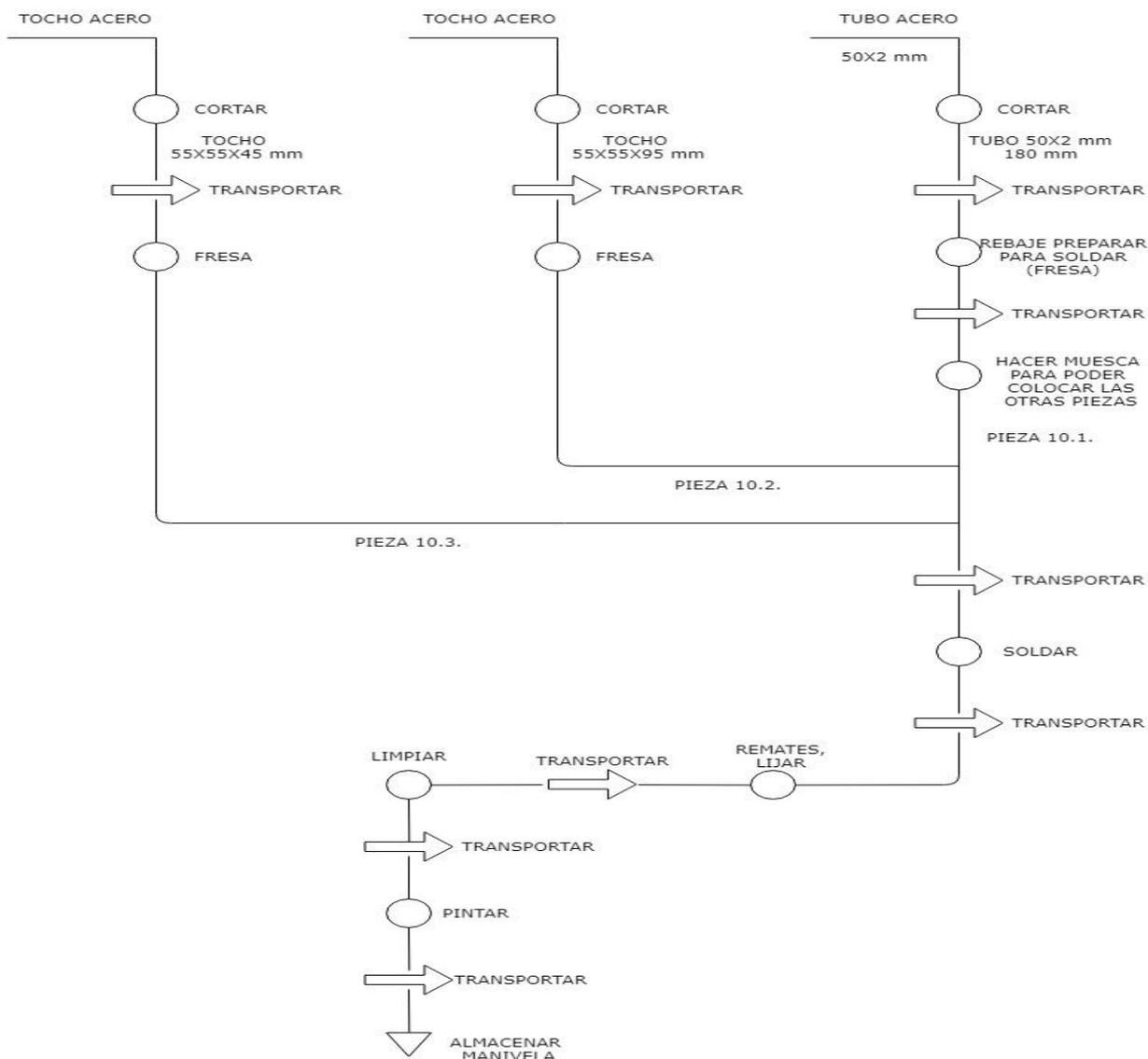


Figura 111. Diagrama de procesos para la fabricación de la manivela. Fuente: elaboración propia

En la *Figura 111* podemos observar el diagrama de procesos de la fabricación de la manivela para el cual necesitamos un tubo de acero que posteriormente se cortará a una longitud determinada, se rebajarán los extremos del tubo gracias a una fresadora de control numérico (cnc) para preparar dicha pieza para ser soldada con las otras dos piezas, finalmente se le realizará una muesca la cual permitirá la colocación de las otras dos piezas a soldar en la posición correcta. Tanto para la pieza 10.2. como para la 10.3. se cortará previamente un tocho de acero el cual con la ayuda de la fresadora de control numérico (cnc) se le dará la forma deseada, esas dos piezas serán unidas a la primera mediante soldadura. Una vez soldadas las tres piezas, se preparará la manivela rematando la soldadura para que quede totalmente lisa, limpiándola y finalmente

pintándola. Tras estos pasos, ya tendremos lista la manivela la cual almacenaremos.

5.1.2. BIELA.

De la biela necesitamos dos copias para cada bicicleta elíptica, para ello necesitamos producir el siguiente diagrama dos veces por cada bicicleta.

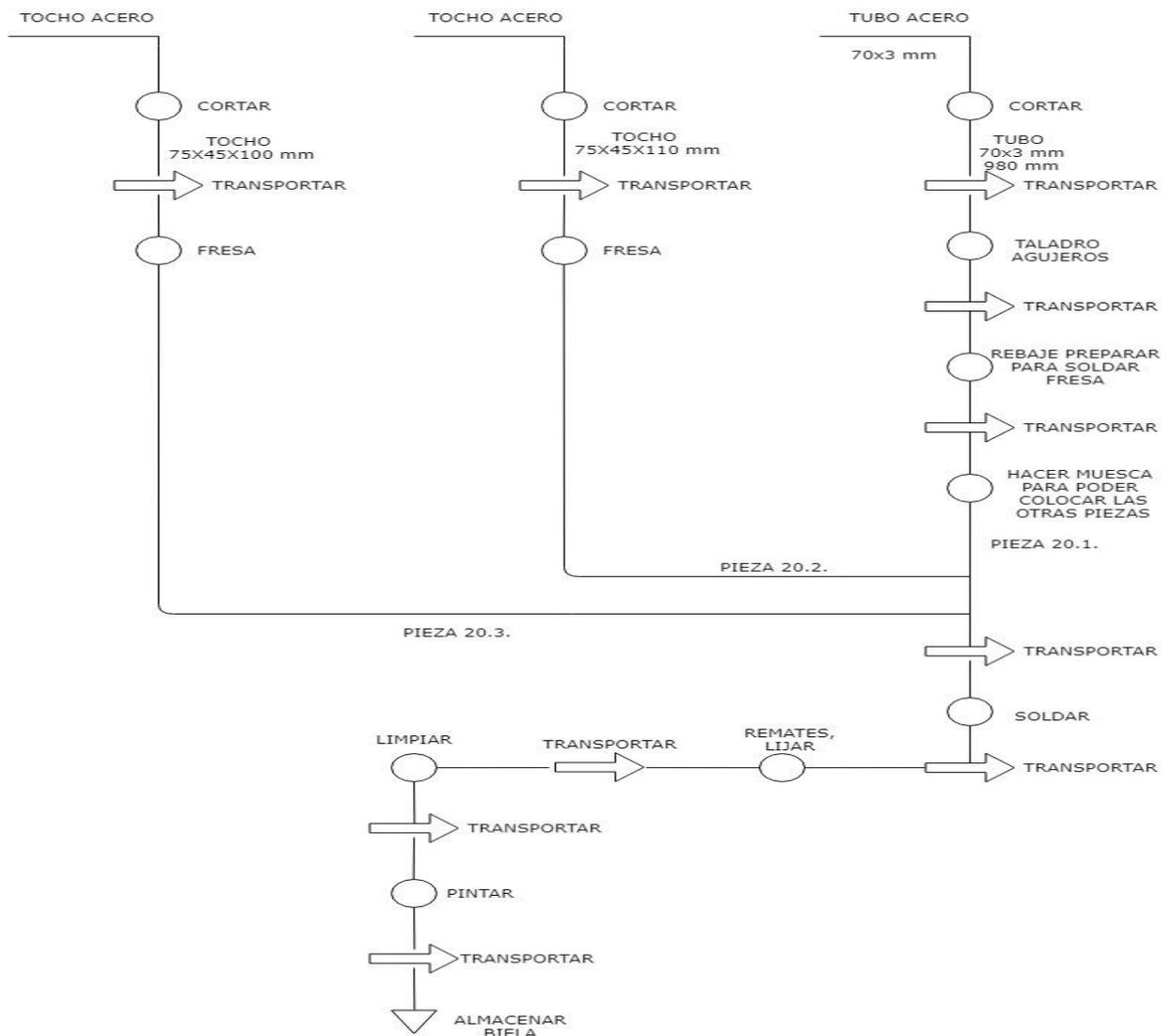


Figura 112. Diagrama de procesos para la fabricación de la biela. Fuente: elaboración propia.

En la *Figura 112* podemos observar el diagrama de procesos para la fabricación de la biela, para el cual necesitamos un tubo que se cortará posteriormente a la medida necesaria, al cual se le taladrarán los agujeros para la posterior unión con el soporte del pie, en los extremos del tubo ya cortado se le realizará un rebaje con la fresadora cnc para facilitar la posterior unión mediante soldadura con las otras dos piezas, las cuales provienen de dos tochos de acero que se les ha cortado previamente y se les da forma gracias a la fresadora cnc. Una vez tenemos todas las piezas se colocan gracias a la ayuda de la muesca realizada en la pieza 20.1. y se unen mediante la soldadura. Una vez soldado, se preparará la biela rematando la soldadura para que quede totalmente lisa, limpiándola y finalmente pintándola. Tras estos pasos, ya tendremos lista la biela la cual almacenaremos.

5.1.3. BALANCÍN.

Del balancín necesitamos dos copias para cada bicicleta elíptica, para ello necesitamos producir el siguiente diagrama dos veces por cada bicicleta

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

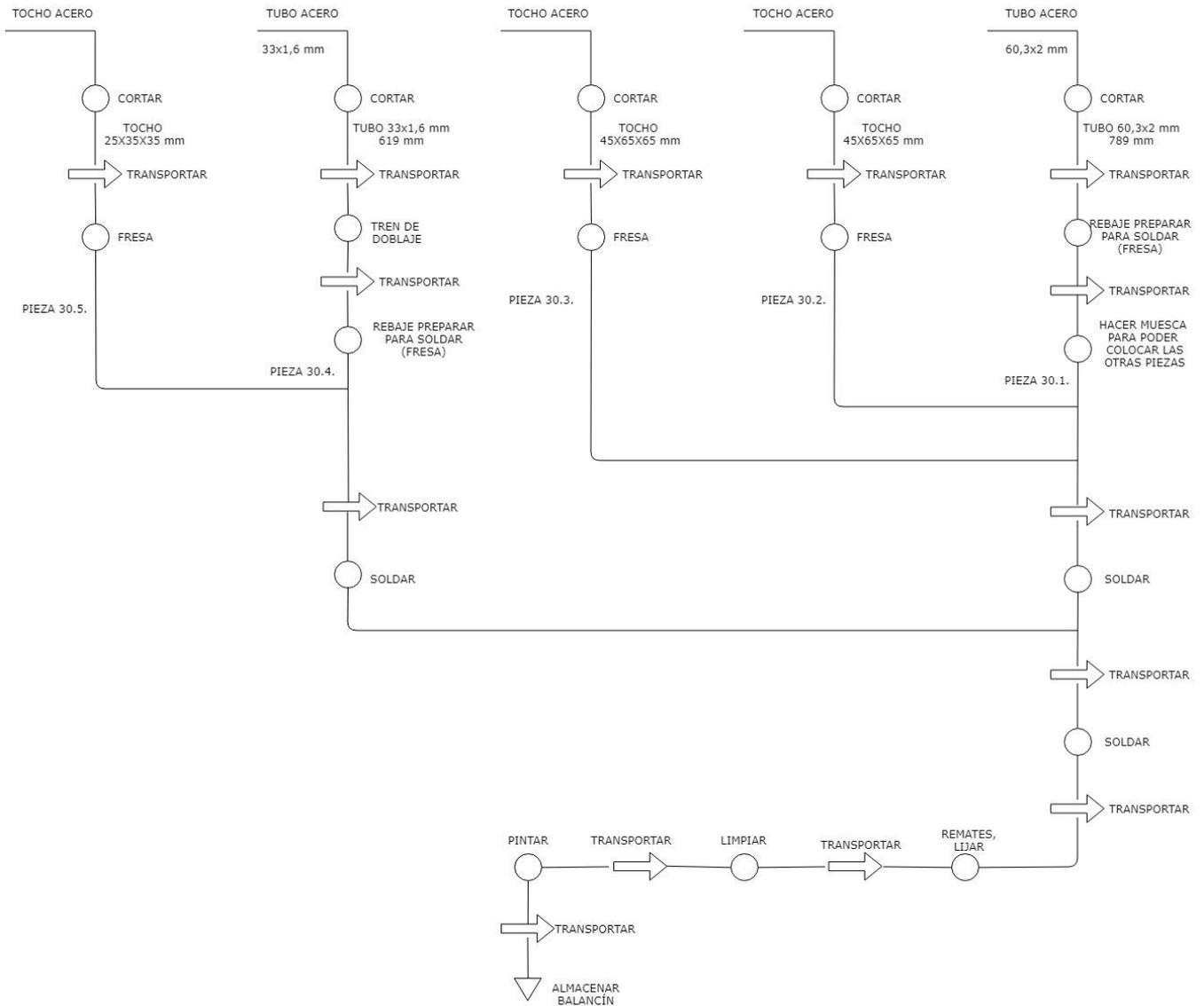


Figura 113. Diagrama de procesos para la fabricación del balancín. Fuente: elaboración propia.

Para el balancín, primero necesitaremos un tubo previamente cortado a una medida determinada, en el cual haremos un rebaje con la fresadora cnc para la posterior unión con las piezas 30.2. y 30.3. obtenidas mediante el mecanizado con la fresadora cnc de dos tochos de acero. Previamente se corta otro tubo de un diámetro menor, se dobla mediante un tren de doblaje y se le da un rebaje con la fresadora cnc para la posterior unión con la pieza 30.5. la cual se obtiene del mecanizado con la fresadora cnc de un tocho de acero. Una vez soldado, se preparará el balancín rematando las soldaduras para que queden totalmente lisas, limpiando el balancín y finalmente pintándolo. Tras estos pasos, ya tendremos listo el balancín el cual almacenaremos.

5.1.4. BANCADA.

De la bancada, solamente necesitamos una copia para cada bicicleta elíptica, por lo que solamente realizaremos el diagrama una vez.

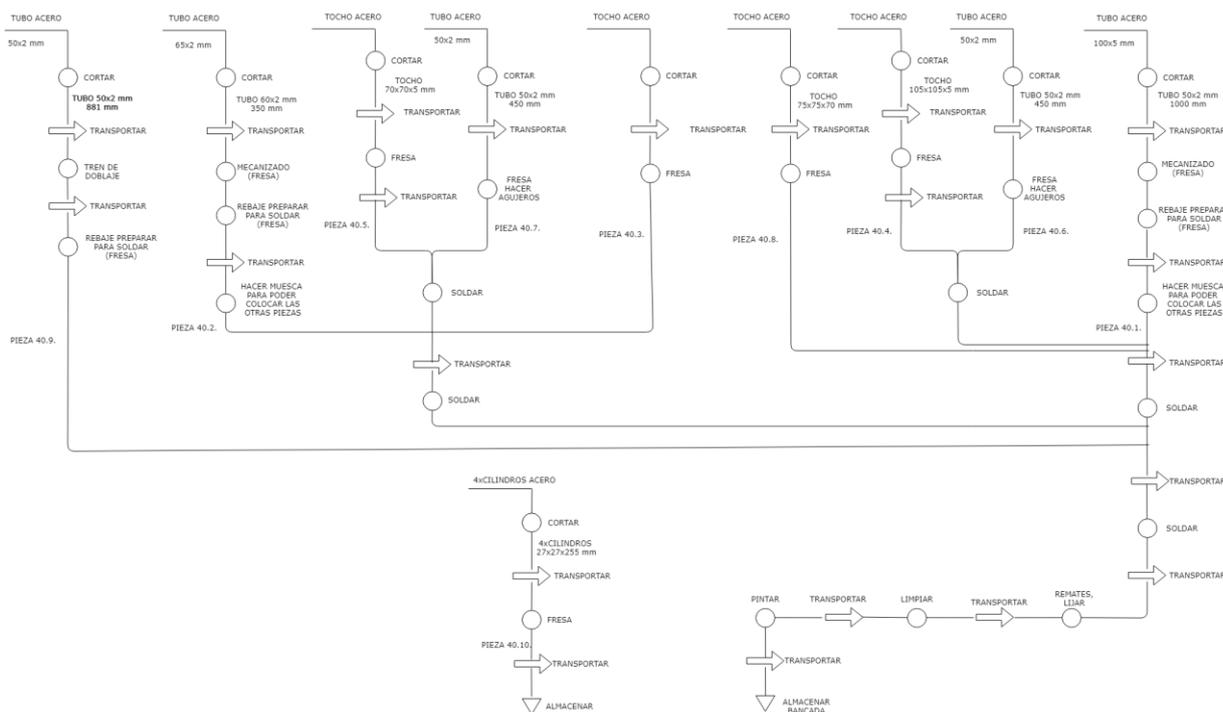


Figura 114. Diagrama de procesos para la fabricación de la bancada. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 114 podemos observar el diagrama de procesos para la fabricación de la bancada. Para poder realizarlo, necesitaremos unos tubos de acero cada uno de una medida (piezas 40.1. y 40.2.) a los cuales se les une mediante soldadura las piezas 40.5., 40.6 y 40.8. a la pieza 40.1. y 40.3., 40.6. y 40.7. a la pieza 40.2, además dichas piezas se obtienen mediante mecanización gracias a la fresa cnc de unos tochos de acero previamente cortados. Finalmente las piezas 40.1+40.5+40.6+40.8 y 40.2+40.3+40.6+40.7 se unen gracias a la pieza 40.9. la cual se obtiene mediante el doblado de un tubo en el tren de doblaje y al cual se le hace un rebaje en ambos extremos para facilitar la soldadura.

A parte de esto, se mecanizan cuatro cilindros de acero (pieza 40.10), que se colocarán en las piezas 40.6. y 40.7. , dos en cada pieza, el día del montaje para unir la bancada al

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

suelo, proceso que se explicará en el diagrama de montaje. Una vez soldado, se preparará la bancada rematando la soldadura para que quede totalmente lisa, limpiándola y finalmente pintándola. Tras estos pasos, ya tendremos lista la biela la cual almacenaremos.

5.1.5. SOPORTE PARA PIES

Para realizar una bicicleta elíptica, necesitamos dos soportes para pies, por lo que realizaremos el diagrama dos veces por cada bicicleta.

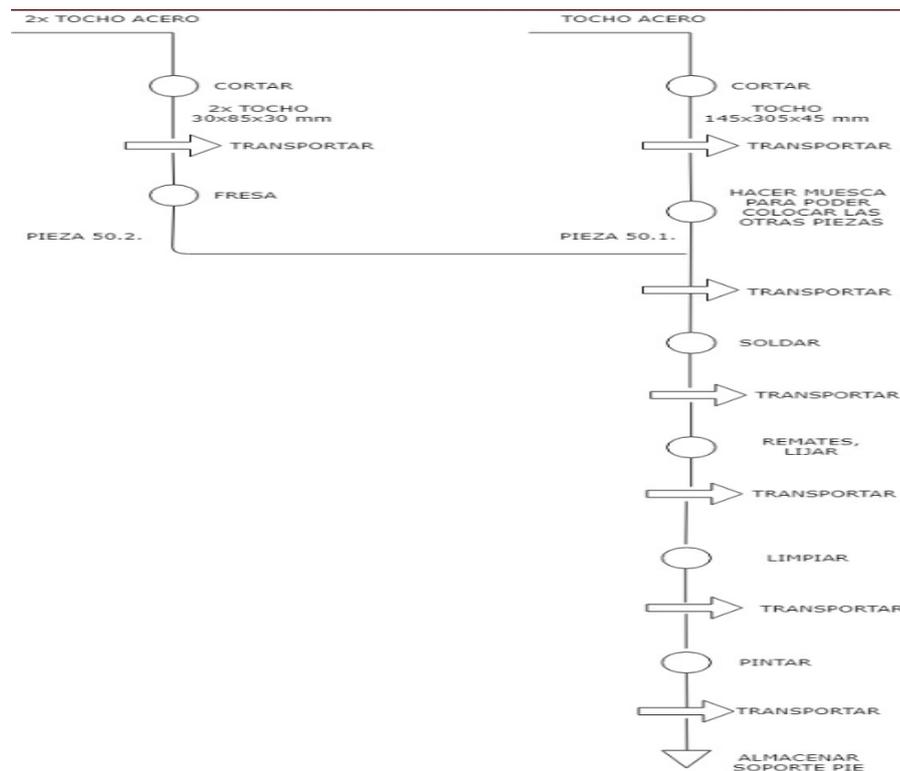


Figura 115. Diagrama de procesos para la fabricación del soporte del pie. Fuente: elaboración propia.

Para realizar un soporte para pie, necesitamos un tocho el cual mecanizamos gracias a la fresadora cnc, al cual unimos mediante soldadura dos cilindros roscados previamente producidos con la fresadora cnc que servirán para unir el soporte con la biela. Una vez soldado, se preparará el soporte rematando la soldadura para que quede totalmente lisa, limpiando el soporte y finalmente pintándolo. Tras estos pasos, ya tendremos lista la biela la cual almacenaremos.

5.2. DIAGRAMA DE PROCESOS DEL MONTAJE.

Una vez tenemos las piezas fabricadas, procedemos al montaje de la bicicleta, el cual se realizará in situ, es decir, en el mismo lugar en el cual va a estar colocada la misma.

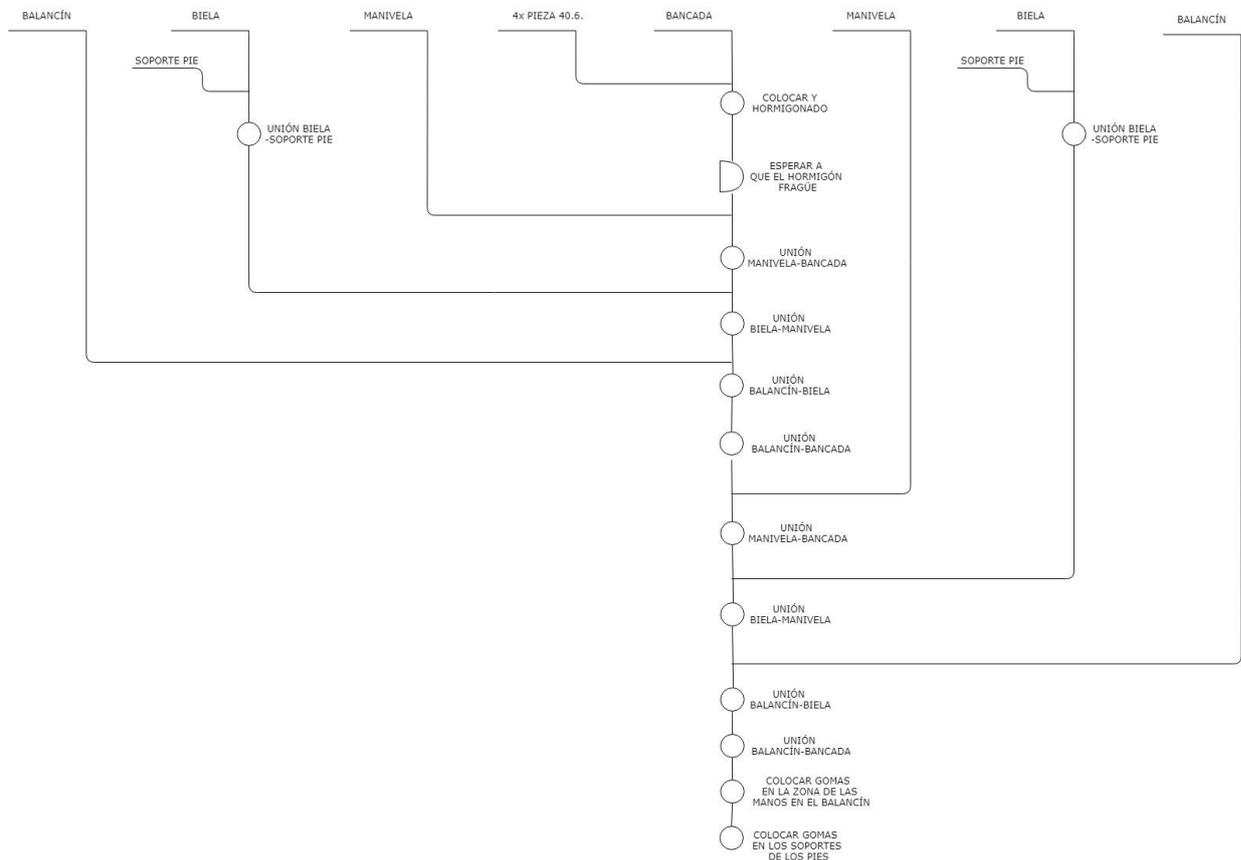


Figura 116. Diagrama de procesos del montaje. Fuente: elaboración propia.

Para realizar el montaje del mecanismo, debemos seguir el diagrama de procesos del montaje, el cual podemos observar en la *Figura 116*. Primeramente se llevan todas las piezas al lugar donde se va a colocar la bicicleta, se fija la bancada al suelo y posteriormente se realiza el montaje de un brazo de la bicicleta y cuando se ha acabado dicho brazo se comienza con el otro hasta finalizar el montaje.

Se comienza fijando la bancada al suelo, para ello, previamente necesitamos dos cubículos en el suelo que serán dos cuadrados de 350mm de lado y 550 mm de profundidad, separados 1050 mm de centro a centro, en los cuales se introducen la pieza 40.6 y 40.7 de la bancada, a las que previamente se las ha colocado los cilindros (pieza

40.10.), hasta el cambio de diámetro, que tiene que coincidir con el suelo. Una vez introducida la bancada, se lleva a cabo el hormigonado, y se rellena el cubículo realizado en el suelo con hormigón y se deja fraguar dicho hormigón.

Posteriormente, se comienzan a unir las piezas, para cada unión se necesitará un tornillo, una arandela y una tapa de plástico que tapará la cabeza del tornillo que sobresale. Se comienza uniendo una manivela con la bancada por medio del par A, posteriormente se une a esta manivela la biela por el par B, previamente esa biela había sido unida con el soporte para los pies gracias a los taladros que contiene la biela y a dos tuercas, a continuación esta biela se une con el balancín y el balancín se une con la bancada, finalizando así el montaje de un lado y se realizan las mismas uniones en el otro lado.

A continuación se colocan dos gomas antideslizantes del tamaño del soporte, encima del mismo, evitando así que la persona que utilice el mecanismo se resbale. Se colocan también gomas antideslizantes de color blanco en la zona en la cual los usuarios del mecanismo deben agarrarse con las manos, para una mayor sujeción y por lo tanto mayor seguridad, además al ser de color blanco evitamos la concentración de calor y que el usuario no se queme.

Finalmente se colocan dos embellecedores de plástico en la zona de unión suelo-bancada.

5.3. MAQUINARIA Y TÉCNICAS NECESARIAS TANTO PARA REALIZAR LAS PIEZAS COMO PARA UNIRLAS.

Las maquinarias y técnicas que necesitaremos tanto para fabricar las piezas como para unir las se explicarán en este punto.

5.3.1. MÁQUINA CORTADORA

Para el corte del acero inoxidable utilizaremos una sierra circular de la marca “Simec cutting solutions” la cual está especializada en cortar barras y tubos de acero o acero inoxidable como es en nuestro caso. La tecnología que utiliza es circular con una hoja de carburo controlada por PLC (controlador lógico programable o autómatas programables) con carga automática.



Figura 117. Sierra circular CICLOMEC 1000. Fuente: <http://www.simecsrl.it>

La sierra que utilizaremos se puede observar en la *Figura 117*, además esta máquina tiene la capacidad de cargar y cortar de una a cuatro barras a la vez, además de ser automática gracias al sistema PLC y se puede controlar gracias a una pantalla táctil.

5.3.2. FRESA DE CONTROL NUMÉRICO

Para todos los procesos de mecanizado mediante fresa, se utilizará la fresadora de la serie “MLCube” de “Datron”, tiene tiempos breves de preparación para producir piezas muy precisas, tiene un gran acabado gracias a su precisión.



Figura 118. Fresadora de control numérico MLCube Datron. Fuente: <https://www.datron.de>

Esta fresadora la cual observamos en la *Figura 118*, tiene un alto rendimiento y una excelente calidad-precio incluso para volúmenes de producción bajos ya que tiene un consumo eléctrico mínimo. Además tiene un recorrido útil de 1520mm x 1150 mm x 245mm, cumpliendo así con creces las necesidades de nuestras piezas. Con esta máquina también se pueden hacer los taladros roscados en la biela, evitando así la necesidad de otra máquina más.

5.3.3. TREN DE DOBLAJE

Utilizaremos una máquina de plegado de la marca “Euromac” necesaria para los perfiles del balancín y de la bancada.



Figura 119. Máquina de plegado digibend 800 CNC. Fuente: <http://www.euromac.com>

La máquina elegida, la cual se puede observar en la *Figura 119*, es controlada por control numérico, lo que permite una gran variedad de curvados. Además, la precisión de esta plegadora es elevada y se mantiene la precisión en la repetitividad, incluso después de miles de plegados.

5.3.4. UNIÓN MEDIANTE SOLDADURA

Para las uniones fijas que son necesarias en todas las piezas, se utilizará el método de la soldadura TIG (Tungsten Inert Gas) el cual es un procedimiento muy adecuado para soldar el acero inoxidable y se utiliza para soldaduras de responsabilidad en las cuales se necesite obtener soldaduras de calidad. En este tipo de soldadura, el arco eléctrico se establece entre un electrodo no consumible de Tungsteno y el metal base, bajo una atmosfera protectora generada por un gas inerte.

Este gas inerte, habitualmente el gas noble argón, se utiliza para proteger del aire que rodea la pieza al metal fundido en la soldadura, a veces, si lo consideramos necesario, se introduce metal de aporte, ya sea en forma de alambre o de varilla, el cual se introduce dentro del arco, de forma manual o automática, para fundirlo y que las gotas caigan dentro del baño de fusión.

Al emplear electrodos no consumibles, este tipo de soldadura genera cordones de gran calidad, sin escorias, ni proyecciones.

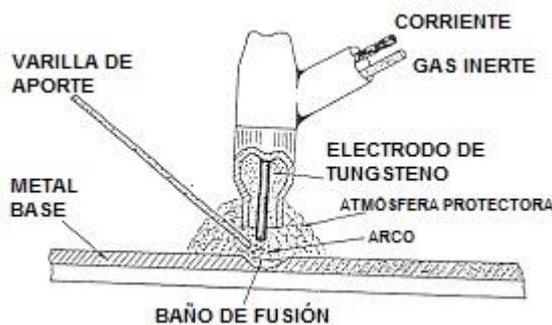


Figura 120. Soldadura TIG. Fuente: <http://www.gnccaldereria.es>

Habitualmente, este tipo de procedimiento se suele emplear para soldar piezas de poco espesor, entre seis y siete milímetros, ya que para espesores mayores no resulta económico y se suelen emplear procedimientos de soldadura por arco sumergido.

Las ventajas más significativas de la soldadura TIG son las siguientes:

- No genera escorias en el cordón, ya que no emplea electrodos consumibles, lo cual reduce las tareas de limpieza posteriores a la soldadura.
- Es un proceso que se puede emplear en todas las posiciones de soldadura, lo cual hace especialmente recomendable para soldadura de tubos y cañerías. Esta ventaja nos es muy importante ya que en nuestro mecanismo soldaremos tubos de

acero inoxidable.

- Este tipo de soldadura no genera ninguna salpicadura alrededor del cordón.
- No afecta a la composición química y propiedades del metal base que se esté utilizando durante el proceso de soldadura.

Para la realización de esta técnica de soldadura descrita, utilizamos un robot de la marca “Panasonic” multidisciplinar el cual permite tanto la soldadura TIG como la MIG/MAG.



Figura 121. Robot articulado de soldadura TIG/MIG/MAG. Fuente: <http://www.directindustry.es>

El robot de soldadura a utilizar se puede observar en la *Figura 121*, el cual se utilizará en todas las piezas de nuestro diseño.

5.3.5. MÁQUINA DE PINTURA

Al finalizar todas las piezas son pintadas, esto se llevará a cabo con una máquina de pintar con pistola la cual otorgará a cada pieza una visión más estética. Para seguir con nuestro diseño las manivelas, los balancines y los soportes de los pies se pintarán de un color púrpura suave, las bielas de color blanco y finalmente la bancada de color gris metalizado.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA



Figura 122. Máquina de pintura con pistola. Fuente: <http://gulfsindan.com>

La máquina de pintura que utilizaremos, observable en la *Figura 122*, es adecuada para cambios de color de pintura habituales, tal y como ocurre en nuestro caso.



Figura 123. Bicicleta elíptica con los colores definitivos. Fuente: elaboración propia.

Una vez finalizado el pintado y el ensamblado la bicicleta tendrá el aspecto de la *Figura 123*.

5.3.6. UNIÓN DE LAS PIEZAS

Para la unión de las piezas una vez finalizadas entre sí, utilizaremos tornillos, los cuales unirán una pieza con el eje que pertenece a la pieza a la que va unida, tal y como se observaba en la *Figura 80*.

5.3.6.1. TORNILLOS

Los tornillos que necesitamos para todas las uniones son de 6mm de diámetro, es decir, métrica seis (M6) y de longitud 16 mm. Necesitamos ocho tornillos para cada bicicleta que produzcamos.

Hemos escogido nuestro proveedor, que será la empresa “Index”, en cuyo catálogo encontramos los tornillos que necesitamos. Dicho catálogo se encuentra en el ANEXO 10.8 de este documento.



Figura 124. Tornillo ISO 1207-M6x16. Fuente: <http://www.aiq.es>

Siguiendo la norma UNE-EN ISO 1207:2011, el tornillo elegido es un tornillo ISO 1207-M6x16, es decir un tornillo ranurado, con cabeza cilíndrica, el cual podemos observar en la *Figura 124*, del cual escogeremos con M6 y largo 16 mm sin tener en cuenta la cabeza, que mide 10 mm de diámetro con 3,9mm de espesor.

5.3.6.2. ARANDELAS

Las arandelas son los elementos que se colocan entre el tornillo y el material donde se colocan, su función es repartir la fuerza de apriete del tornillo para que la presión no recaiga en un único punto dañando el material, por esto refuerzan la unión del tornillo y el material, protege al material para que no se rompa con la presión y previenen que se aflojen uniones sometidas a vibración.

Necesitamos tantas arandelas como tornillos, por lo que para realizar una bicicleta necesitamos ocho arandelas para cada arandela que produzcamos.



Figura 125. Arandelas ISO 7089-M6. Fuente: es.pts-uk.com

Siguiendo la norma UNE-EN ISO 7089:2000, para un diámetro nominal de 6mm tenemos un agujero de paso entre 6,40 y 6,62 mm, un diámetro exterior entre 11,57 y 12 mm y un espesor nominal de 1,6 mm. Por lo tanto esta arandela se denomina ISO 7089-M6 observable en la Figura 125

5.3.6.3. TAPAS DE PLÁSTICO

Por una cuestión de seguridad y además brindar un toque más estético a nuestro mecanismo, se diseñan unas tapas de plástico que cubrirán el hueco en el cual se encuentra el tornillo y la arandela, de tal forma que si dicho tornillo o dicha arandela necesitan ser cambiados por cualquier cuestión, un técnico cualificado para ello y con los permisos necesarios, sea capaz de quitar la tapa de plástico, hacer los cambios necesarios y volverla a poner. De esta forma evitamos también que cualquier persona ajena, no tenga acceso a los tornillos.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

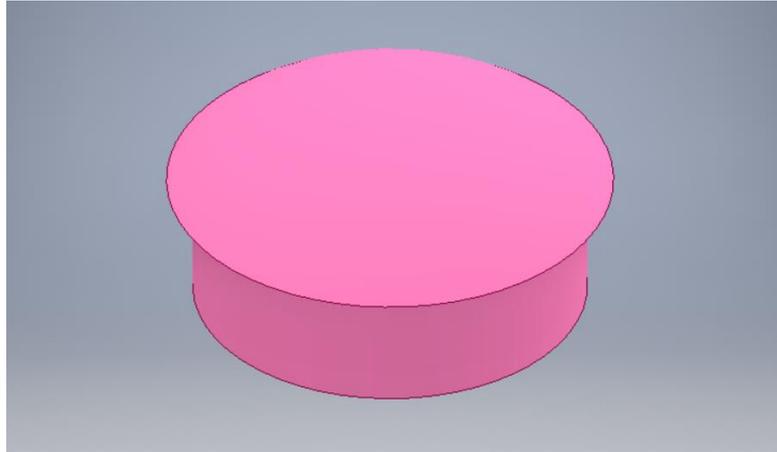


Figura 126. Tapa de plástico para la zona de los tornillos. Fuente: elaboración propia.

En la *Figura 126* observamos el diseño de la tapa de plástico descrita anteriormente. De la cual necesitamos 10 unidades para cada bicicleta elíptica que pretendamos fabricar.



Figura 127. Bicicleta elíptica con las tapas de plástico en color rosa. Fuente: elaboración propia.

Para poder hacernos una idea mejor, se muestra la *Figura 127*, en la cual se puede observar la bicicleta elíptica completa en color gris metálico y las tapas en color rosa.

5.3.6.4. UNIÓN SOPORTE PIES-BIELA.

La unión soporte pies-biela se realiza mediante los cilindros roscados que se encuentran en el soporte y unas tuercas que encajan en dichos cilindros roscados. La métrica de los cilindros roscados es M24, y por lo tanto la de las tuercas también debe ser esa.



Figura 128. Tuercas ISO 4032-M24. Fuente: <https://www.bricosimax.com>

Siguiendo la norma UNE-EN ISO 4032:2013, para tuercas hexagonales tipo 1, sabiendo que la métrica es M24, la tuerca que debemos escoger tiene un espesor entre 20,20 y 21,50 mm, denominada ISO 4032-M24, la cual podemos ver en la *Figura 128*. Además las tuercas elegidas son autoblocantes, esto es que una vez sean colocadas, no será posible quitarlas si no es para sustituirlas, por seguridad.

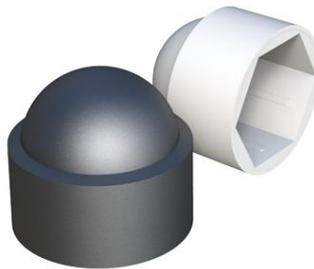


Figura 129. Capuchones de plástico para tuercas hexagonales. Fuente: <https://www.iscsl.es/>

Finalmente por una cuestión de seguridad, las tuercas estarán camufladas bajo capuchones de plástico, el cual se puede observar en la *Figura 129*. Escogeremos aquel que tiene M24.

6. ESTUDIO DE SEGURIDAD

Se realiza una evaluación de riesgos que pueden experimentar las personas que utilicen este diseño que hemos desarrollado sobre la bicicleta elíptica biosaludable.

Seguiremos en método del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), el cual tiene en cuenta la severidad del daño y la probabilidad de que ese daño ocurra.

Para determinar la potencial severidad del daño, se consideran las partes del cuerpo que se verán afectadas y la naturaleza del daño que se clasifica desde ligeramente dañino a extremadamente dañino.

SEVERIDAD DEL DAÑO	DEFINICIÓN
Ligeramente dañino	Daños superficiales: cortes y magulladuras pequeñas, irritación de los ojos por polvo. Molestias e irritación, por ejemplo: dolor de cabeza, disconfort.
Dañino	Laceraciones, quemaduras, conmociones, torceduras importantes, fracturas menores. Sordera, dermatitis, asma, trastornos músculo-esqueléticos, enfermedad que conduce a una discapacidad menor.
Extremadamente dañino	Amputaciones, fracturas mayores, intoxicaciones, lesiones múltiples, lesiones fatales. Cáncer y otras enfermedades crónicas que acorten severamente la vida.

Para establecer la probabilidad del daño, debe considerarse si las medidas de control ya implantadas son adecuadas, además de la información sobre las actividades. La probabilidad de que ocurra el daño se clasifica en:

PROBABILIDAD	DEFINICIÓN
Alta	El daño ocurrirá siempre o casi siempre
Media	El daño ocurrirá en algunas situaciones.
Baja	El daño ocurrirá raras veces

El siguiente cuadro define un método simple para estimar los niveles de riesgo adecuado a su probabilidad estimada y a sus consecuencias esperadas:

		Consecuencias		
		Ligeramente Dañino (LD)	Dañino (D)	Extremadamente Dañino (ED)
Probabilidad	Baja (B)	Riesgo trivial T	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO
	Media (M)	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I
	Alta (A)	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I	Riesgo intolerable IN

Los niveles de riesgos indicados en el cuadro anterior, nos dicen si se requiere mejorar los controles existentes o implantar unos nuevos, así como la temporización de las acciones. En la siguiente tabla tenemos el criterio sugerido por el INSHT como punto de partida para la toma de decisión.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

Riesgo	Acción y temporización
Trivial (T)	No se requiere acción específica
Tolerable (TO)	No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo, se deben considerar soluciones más rentables o mejoras que no supongan una carga económica importante. Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.
Moderado (M)	Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un periodo determinado. Cuando el riesgo moderado está asociado con consecuencias extremadamente dañinas, se precisará una acción posterior para establecer, con más precisión, la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
Importante (I)	No debe comenzarse el trabajo hasta que no se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para controlar el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo que se está realizando, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
Intolerable (IN)	No debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo.

Teniendo en cuenta esto, realizamos una tabla probabilidad-consecuencias dando valores teniendo así una herramienta cuantitativa. Para ello, necesitamos saber los valores que otorgamos a cada probabilidad y a cada consecuencia:

PROBABILIDAD	CONSECUENCIAS	VALOR
Nunca ha ocurrido.	Menos de un día de baja	1
Se tienen noticias.	De 1 a 15 días de baja	3
Ocurre en un 20% de los casos	De 15 a 90 días de baja	5
Ocurre en un 50% de los casos	Más de tres meses de baja	7
Ocurre siempre, 100% de los casos	Caso de fallecimiento.	10

Una vez otorgamos valores a las probabilidades y las consecuencias, obtenemos la tabla probabilidad-consecuencias, teniendo en cuenta que tomaremos como riesgo trivial valores entre 1 y 3, riesgo tolerable valores entre 4 y 9, riesgo moderado valores entre 10 y 24, riesgo importante valores entre 25 y 48 y riesgo intolerable valores mayores de 49.

		CONSECUENCIAS.				
		1	3	5	7	10
PROBABILIDAD	1	1	3	5	7	10
	3	3	9	15	21	30
	5	5	15	25	35	50
	7	7	21	35	49	70
	10	10	30	50	70	100

Para obtener la tabla probabilidad-consecuencia multiplicamos la probabilidad y la consecuencia y observamos en qué rango de valores de riesgos se encuentra dicho resultando, sabiendo así el riesgo de esa acción y por lo tanto los cambios que hay que realizar y en qué periodo de tiempo.

6.1. DEFINICIÓN DE RIESGOS.

Necesitamos obtener una tabla de nuestro mecanismo en la cual evaluemos los riesgos a los que están expuestos los usuarios, para ello primero necesitamos definir dichos riesgos. Según la “Guía para la evaluación de riesgos laborales en la Administración de la Comunidad de Castilla y León y sus Organismos Autónomos” los riesgos son los siguientes:

6.1.1. CONDICIONES DE SEGURIDAD.

Condiciones de trabajo ligadas a los locales, instalaciones, equipos, productos y demás útiles existentes en el centro de trabajo, que puedan causar una lesión física al trabajador.

CÓDIGO RIESGO	RIESGO	DEFINICIÓN
010	Caídas al mismo nivel	Caída que se produce en el mismo plano de sustentación. Caída en lugares de tránsito o superficies de trabajo (inadecuadas características superficiales, desniveles, calzado inadecuado). Caída sobre o contra objetos (falta de orden y limpieza)
020	Caídas a distinto nivel	Caída a un plano inferior de sustentación, caídas desde alturas (edificios, ventanas, máquinas, árboles, vehículos ascensores.) Caída en profundidades (puentes, excavaciones, agujeros, etc.)
030	Caída de objetos por desplome o derrumbamiento	Caída de elementos por pérdida de estabilidad de la estructura a la que pertenecen. Caída de objetos por hundimiento, caída desde edificios, muros, ventanas, escaleras, montones de mercancías, desprendimiento de rocas, de tierra, etc.

040	Caída de objetos en manipulación	Caída de objetos y materiales durante la ejecución de trabajos en operaciones de transporte por medios manuales o con ayudas mecánicas, caída de materiales sobre un trabajador, siempre que el accidentado sea la misma persona a que se le haya caído el objeto que está manejando
050	Caída de objetos desprendidos	Caída de objetos diversos que no se estén manipulando, y que se desprenden de su ubicación por razones varias. Caída de herramientas y materiales sobre un trabajador siempre que el accidentado no lo estuviese manejando
060	Pisadas sobre objetos	Es la situación que se produce por tropezar o pisar sobre objetos abandonados o irregularidades del suelo pero que no originan caídas aunque si lesiones.
070	Choque contra objetos inmóviles	Encuentro violento de una persona o de una parte de su cuerpo con uno o varios objetos colocados de forma fija o en situación de reposo.
080	Choque contra objetos móviles	Golpe ocasionado por elementos móviles de las máquinas e instalaciones. No se incluyen atrapamientos.
090	Golpes cortes por objetos o herramientas	Situación que puede producirse ante el contacto de alguna parte del cuerpo de los trabajadores con objetos cortantes, punzantes o abrasivos. No se incluyen los golpes por caída de objetos. Golpes con un objeto o herramienta que es movido por una fuerza diferente a la gravedad.

100	Proyección de fragmentos o partículas	de	Circunstancias que se puede manifestar en lesiones producidas por piezas, fragmentos o pequeñas partículas de material, proyectadas por una máquina, herramienta o materia prima a conformar. Excluye los producidos por fluidos biológicos.
110	Atrapamiento entre objetos	por o	Situaciones que se producen cuando una persona o parte de su cuerpo es enganchada o aprisionada por mecanismos de las máquinas o entre objetos, piezas o materiales.
120	Atrapamiento por vuelco de máquinas o vehículos	o	Es la situación que se produce cuando un operario o parte de su cuerpo es aprisionado contra las partes de las máquinas o vehículos que, debido a condiciones inseguras, han perdido su estabilidad
130	Sobreesfuerzos		
130.1.	Sobreesfuerzos por manipulación de cargas	por	Manipulación, transporte, elevación, empuje o tracción de cargas: carros, cajas, etc. que pueda producir lesiones.
130.2.	Sobreesfuerzos por movilización de personas de movilidad reducida	por con	Manipulación, transporte, elevación, empuje o tracción de personas con movilidad reducida que pueda producir lesiones.
130.3.	Sobreesfuerzos por otras causas	por	Posturas inadecuadas o movimientos repetitivos o vibraciones mecánicas que puedan producir lesiones músculo-esqueléticas agudas o crónicas. Excluye las lesiones producidas por manipulación de cargas, incluidas en otros apartados.
140	Exposición a temperaturas ambientales extremas	a	Permanencia en un ambiente con calor o frío excesivo.

150	Contactos térmicos	
150.1.	Contactos térmicos por calor	Acción y efecto de tocar superficies o productos calientes
150.2.	Contactos térmicos por frío	Acción y efecto de tocar superficies o productos fríos
161	Contactos eléctricos directos	
161.1.	Contactos eléctricos directos baja tensión <1000 voltios	Es todo contacto de las personas directamente con partes activas en tensión (trabajando con tensiones <1000 voltios).
161.2.	Contactos eléctricos directos alta tensión >1000 voltios	Es todo contacto de las personas directamente con partes activas en tensión (trabajando con tensiones >1000 voltios)
162	Contactos eléctricos indirectos	
162.1.	Contactos eléctricos indirectos baja tensión <1000 voltios	Es todo contacto de las personas con masas puestas accidentalmente en tensión (trabajando con tensiones <1000 voltios).
162.2.	Contactos eléctricos indirectos alta tensión >1000 voltios	Es todo contacto de las personas con masas puestas accidentalmente en tensión (trabajando con tensiones >1000 voltios).
170	Exposición a sustancias nocivas o tóxicas:	

170.1.	Inhalación o ingestión accidental de sustancias nocivas	Efectos agudos producidos por exposición ambiental accidental o por ingestión de sustancias o productos: lesiones neurológicas, respiratorias (asma, hiperreactividad bronquial, etc.), etc. Incluye las asfixias y ahogamientos.
170.2.	Otras formas de exposición accidental	Otros tipos de exposición no incluidas en el apartado anterior.
180	Contacto con sustancias causticas y/o corrosivas:	
180.1.	Contacto con sustancias (nocivas) que puedan producir dermatosis	Acción y efecto de tocar sustancias o productos que producir dermatosis: por abrasión química o física (uso frecuente de jabones o detergentes) o de tipo alérgico.
180.2.	Contacto con sustancias (nocivas) que puedan producir otro tipo de lesiones externas distintas a la dermatosis.	Acción y efecto de tocar sustancias o productos que puedan producir lesiones externas en la piel distintas a la dermatosis.
190	Exposición a radiaciones	Altas dosis, entendiendo dicha exposición como accidente.
200	Explosiones	
200.1.	Explosiones químicas 200.1.1. gases y vapores 200.1.2. polvo combustible	Liberación brusca de gran cantidad de energía que produce un incremento violento y rápido de la presión con desprendimiento de calor, luz y gases, teniendo su origen en transformaciones químicas.

200.2.	Explosiones físicas	Liberación brusca de gran cantidad de energía que produce un incremento violento y rápido de la presión, con desprendimiento de calor, luz, gases, teniendo su origen en transformaciones físicas.
211	Incendio. Factores de inicio.	Es el conjunto de condiciones: materiales combustibles, comburente y fuentes de ignición, cuya conjunción en un momento determinado puede dar lugar a un incendio.
212	Incendio propagación	Condiciones que favorecen el aumento y la extensión del incendio.
213	Incendio. Medios de lucha y señalización.	Son aquellos medios materiales con los que es posible atacar un incendio, hasta su completa extinción o la llegada de ayudas exteriores.
214	Incendios evacuación	Es la salida ordenada de todo el personal del centro y su concentración en un punto determinado considerado como seguro.
220	Accidentes causados por seres vivos	
220.1.	Accidentes causados por seres vivos personas	Son los producidos a las personas por la acción de otras personas agresiones patadas, mordiscos.
220.2	Accidentes causados por seres vivos animales	Son los producidos a las personas por la acción por animales arañazos, patadas, mordiscos.
230	Atropellos o golpes con vehículos	
230.1.	Atropellos o golpes con vehículos	Son los producidos por vehículos en movimiento, empleados en las distintas fases de los procesos realizados por la empresa.

230.2.	Accidentes de tráfico	Los ocurridos dentro del horario laboral, independientemente de lo que esté relacionado con el trabajo habitual o no.
--------	-----------------------	---

6.1.2. CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES.

Condición en la que agentes físicos, químicos y biológicos presentes en el ambiente de trabajo pudieran causar un daño para la salud de tipo orgánico (enfermedad).

CÓDIGO RIESGO	RIESGO	DEFINICIÓN
310	Exposición agentes químicos	a
310.1	Vapores gases	y Descripción: el riesgo vendrá dado por la concentración de dicha sustancia en el ambiente de trabajo y por el tiempo de exposición, es decir la dosis. Vapores orgánicos: dispersión en aire de moléculas de una sustancia que es líquida o sólida en su estado normal, es decir, a una temperatura y presión estándar. La principal vía de entrada es la vía respiratoria aunque también tiene importancia la vía dérmica, sobre todo en aquellos vapores que son de naturaleza orgánica. Gases: estado de agregación de la materia que se caracteriza por su baja densidad y viscosidad. Estas sustancias se prestan como tales a temperatura y presión ambientales.
310.1.1.		Agentes químicos vapores y gases: Aldehídos (formaldehído, glutaraldehído)
310.1.2.		Agentes químicos vapores y gases: vapores orgánicos.
310.1.3.		Agentes químicos vapores y gases: gases anestésicos

310.1.4.		Agentes químicos vapores y gases: óxido de etileno
310.1.5.		Agentes químicos vapores y gases: peróxido de hidrogeno
310.1.6.		Agentes químicos vapores y gases: otros
310.2.	Aerosoles	Descripción: el riesgo vendrá dado por la concentración de dicha sustancia en el ambiente de trabajo y por el tiempo de exposición, es decir, la dosis. Aerosoles: dispersión de partículas sólidas o líquidas de tamaño inferior a 100 micras, en un medio gaseoso.
310.2.1.	Agentes químicos aerosoles: polvo	Dispersión de partículas de pequeño tamaño procedentes de procesos físicos de disgregación. Tamaño entre 0,1-25 micras polvo de madera, polvo de detergente, polvo que proviene de guantes, etc. Se exceptúan citostáticos.
310.2.2.	Agentes químicos aerosoles: fibras	Dispersión de partículas sólidas de longitud mayor de 5 micras y una relación longitud anchura mayor de 3 (fibra procedente de materiales de aislamiento, fibras textiles etc.)
310.2.3.	Agentes químicos aerosoles: nieblas	Suspensión en el aire de pequeñas gotas de líquido que se generan por condensación de un estado gaseoso o bien por ebullición tamaño desde 0,01 a 10 micras (nieblas de ácidos y álcalis). Se exceptúan citostáticos.
310.2.4.	Agentes químicos aerosoles: Humo	Suspensión en el aire de partículas solidas originadas en procesos de combustión incompleta, tamaño menor a 0,1 micras (polvo de carbón hollín).
310.2.5.	Agentes químicos aerosoles: Citostáticos	Dispersión producida durante la preparación (polvo) o bien durante la administración (niebla) de medicamentos citostáticos.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

310.3.	Metales	Descripción: el riesgo vendrá dado por la concentración de dicha sustancia en el ambiente de trabajo y por el tiempo de exposición, es decir, la dosis. Metales: solidos cristalinos, con brillo, buenos conductores de la electricidad y que presentan en general una alta reactividad química.
310.3.1.	Agentes químicos metales: polvo	Suspensión de partículas de tamaño pequeño procedentes de procesos físicos de disgregación metal.
310.3.2.	Agentes químicos metales: humo metálico	Suspensión en el aire de partículas sólidas metálicas generadas en procesos de condensación del estado gaseoso, partiendo de la sublimación o volatilización del metal, a menudo acompañado de una reacción química de oxidación.
320	Exposición a agentes biológicos	Descripción: exposición a microorganismos, con inclusión de los genéticamente modificados, cultivos celulares y endoparásitos humanos, susceptibles de originar cualquier tipo de infección alergia o toxicidad.
320.1.	Agentes biológicos: transmisión por sangre y fluidos	Lesiones producidas por pinchazos con agujas o objetos punzantes, cortes, salpicaduras, ingestión, etc. Que puedan producir inoculación de agentes biológicos (transmisión por sangre y fluidos)
320.2.	Agentes biológicos: transmisión aérea, contacto o hídrica.	Enfermedades infecciosas y parasitarias agudas o crónicas producidas por agentes biológicos (virus, bacterias, parásitos, etc.) de transmisión aérea, por gotas, por contacto o hídrica. Excluye las producidas por transmisión sanguínea, incluidas en otro apartado.
330	Ruido	
330.1.	Exposición a ruido: riesgo de hipoacusia	Riesgo higiénico: presencia de niveles de ruido elevados, que pueden alterar el órgano de la audición. Niveles establecidos por el RD 286/2006 de 10 de marzo.

330.2.	Discomfort acústico	Discomfort acústico todo sonido no grato que puede interferir o impedir alguna actividad humana (los niveles estarán por debajo de los establecidos en el RD 286/2006 de 10 de marzo)
--------	---------------------	---

340 Vibraciones

340.1	Vibraciones. Cuerpo completo	Oscilación de partículas alrededor de un punto, en un medio físico cualquiera. Los efectos de la misma deben entenderse como consecuencia de una transferencia de energía al cuerpo humano, que actúa como receptor de energía mecánica, en este caso el sistema afectado es el cuerpo completo.
-------	------------------------------	--

340.2.	Vibraciones. Mano-brazo	Oscilación de partículas alrededor de un punto, en un medio físico cualquiera. Los efectos de la misma deben entenderse como consecuencia de una transferencia de energía al cuerpo humano, que actúa como receptor de energía mecánica, parte de cuerpo afectada sistema mano- brazo
--------	-------------------------	---

350 Estrés térmico

350.1.	Frío. Exposición a temperaturas extremas	Permanencia en un ambiente con frio excesivo (condiciones termo higrométricas fuera del rango establecido en el RD 486/97) para la evaluación del riesgo del estrés térmico hay que tener en cuenta además de las condiciones ambientales, la actividad realizada y la ropa que se lleve (trabajo con cámaras frigoríficas o en el exterior).
--------	--	---

350.2.	Calor. Exposición a temperaturas extremas	Permanencia en un ambiente con calor excesivo (condiciones termo higrométricas fuera del rango establecido en el RD 486/97) para la evaluación del riesgo del estrés térmico hay que tener en cuenta además de las condiciones ambientales, la actividad realizada y la ropa que se lleve (zonas de clima caluroso, verano), radiación térmica elevada, altos niveles de humedad, en lugares donde es necesario llevar prendas de protección que impiden la evaporación del sudor.
--------	---	--

350.3.	Disconfort térmico		Permanencia en condiciones ambientales (condiciones termo higrométricas dentro del rango establecido en el RD 486/97) que pueden originar molestias o incomodidades que afectan al bienestar del trabajador, a la ejecución de las tareas y al rendimiento laboral, sin suponer un riesgo higiénico.
360	Exposición radiaciones ionizantes	a	Estar en presencia de cualquier radiación electromagnética capaz de producir la ionización de manera directa o indirecta, en su paso a través de la materia (energía o sustancias químicas generadoras de partículas radiactivas).
370	Exposición radiaciones ionizantes	a no	Cualquier radiación electromagnética incapaz de producir ionización de manera directa o indirecta a su paso a través de la materia.
380	Iluminación		Toda radiación electromagnética emitida o reflejada, por cualquier cuerpo, cuyas longitudes de onda estén comprendidas entre 380nm y 780nm y susceptibles de ser percibidas como luz. Desajustes entre las diferentes tareas a desarrollar en los distintos puestos de trabajo y la exigencia de los niveles de iluminación (niveles establecidos en el RD 486/97)

6.1.3. FATIGA.

Efectos no patológicos, locales o generales, reversibles mediante el descanso adecuado.

CÓDIGO RIESGO	RIESGO	DEFINICIÓN
410	Carga física: posición	Es el resultado del conjunto de requerimientos físicos a los que se ve sometido el trabajador a lo largo de la jornada de trabajo, cuando se ve obligado a adoptar una determinada postura singular o esfuerzo muscular de posición inadecuada y/ o a mantenerlo durante un periodo de tiempo excesivo.

420	Carga física: desplazamiento		Condición que afecta físicamente al organismo, y que es producida por los esfuerzos musculares dinámicos que el trabajador realiza, debido a las exigencias del movimiento o tránsitos sin carga, durante la jornada de trabajo.
430	Carga física: Esfuerzo		Es el resultado del conjunto de requerimientos físicos a los que se ve sometido el trabajador a lo largo de la jornada de trabajo, cuando se ve obligado a ejercer un esfuerzo muscular estático excesivo, unidos en la mayoría de los casos a: posturas forzadas de los segmentos corporales, frecuencia de movimientos fuera de límites, etc.
440	Carga física		
440.1.	Carga física: movimientos repetitivos		Es el resultado del conjunto de requerimientos físicos a los que se ve sometido el trabajador a lo largo de la jornada de trabajo, cuando se ve obligado a realizar movimientos repetitivos. Siendo la duración del ciclo de trabajo menor de 30 segundos o cuando se dedica más del 50% del ciclo a la ejecución de la misma acción.
440.2.	Manejo de cargas	de	Es aquella situación de merma física, producida por un sistema de esfuerzos musculares dinámicos y/o estáticos, ejercidos para la alimentación y/o la evacuación de las piezas del lugar de almacenamiento al plano de trabajo, o viceversa, o para su transporte.
440.3.	Movilización de personas con movilidad reducida	de con	Es aquella situación de merma física producida por un sistema de esfuerzos musculares dinámicos y/o estáticos, ejercidos para la movilización de personas con movilidad reducida.

450	Mental: recepción de información	La carga mental es la cantidad de esfuerzo mental deliberado que se debe realizar para conseguir un resultado concreto; este proceso exige un estado de atención (capacidad de “estar alerta”) y de concentración (capacidad de permanecer pendiente de una actividad o un conjunto de ellas durante un periodo de tiempo). En el estudio de la carga mental deben considerarse los siguientes factores:
460	Mental: tratamiento de información	
470	Mental: respuesta	<ul style="list-style-type: none"> · Cantidad y complejidad de la información que debe tratarse. · Tiempo: ritmo de trabajo y posibilidad de hacer pausas o de alternar con otro tipo de tareas. · Aspectos individuales del trabajador.
480	Fatiga: crónica	Es la situación de desequilibrio entre las demandas de la tarea y la capacidad de respuesta de la persona.
490	Fatiga: visual	Alteración funcional, de carácter reversible en su inicio, debida a sollicitaciones excesivas sobre los músculos oculares y la retina, a fin de obtener una focalización fija de la imagen sobre la retina.

6.1.4. INSATISFACCIÓN.

Falta de complacencia motivada por el contenido del trabajo que se realiza

CÓDIGO RIESGO	RIESGO	DEFINICIÓN
510	Contenido	Importancia y motivación del trabajo que percibe el trabajador, condicionado por la variedad de capacidades requeridas, importancia de tareas, etc.
520	Monotonía	Carácter repetitivo y simple de las tareas realizadas por el trabajador, condicionado por la variedad de capacidades requeridas, importancia de tareas, etc.

530	Roles	Conflicto provocado por el trabajador por la ambigüedad en su cometido laboral o por desacuerdo entre sus valores y creencias personales, y las demandas del trabajo.
540	Autonomía	Capacidad del trabajador para gestionar su tiempo de trabajo y descanso, y el orden de ejecución de las tareas.
550	Comunicaciones	Posibilidad de intercambiar información y aportar ideas dentro de una organización laboral, tanto a nivel horizontal como vertical
560	Relaciones	Capacidad y fluidez de las relaciones personales y del clima laboral.
570	Tiempo de trabajo	Exigencias en los tiempos asignados a las tareas, recuperación de retrasos y tiempos de trabajo con rapidez.

6.2. EVALUACIÓN DE RIESGOS

Para la evaluación de riesgos durante el uso de la bicicleta, supondremos una probabilidad y una consecuencia para cada tipo de riesgo y escribiremos en dicha columna el valor correspondiente de esa probabilidad o consecuencia, multiplicando las columnas de probabilidad y consecuencia obtendremos un valor que compararemos con los rangos de los niveles de riesgos y así sabremos las actuaciones que tendremos que realizar y en qué tiempo debemos hacerlo para disminuir dicho riesgo.

6.2.1. CONDICIONES DE SEGURIDAD

CÓDIGO RIESGO	RIESGO	PROBABILIDAD	CONSECUENCIA	NIVEL DE RIESGO
010	Caídas al mismo nivel	5	3	15 MODERADO
020	Caídas a distinto nivel	3	5	15 MODERADO

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA
PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

030	Caída de objetos por desplome o derrumbamiento	1	10	10 MODERADO
040	Caída de objetos en manipulación	1	10	10 MODERADO
050	Caída de objetos desprendidos	1	10	10 MODERADO
060	Pisadas sobre objetos	5	3	15 MODERADO
070	Choque contra objetos inmóviles	7	3	21 MODERADO
080	Choque contra objetos móviles	7	3	21 MODERADO
090	Golpes cortes por objetos o herramientas	3	5	15 MODERADO
100	Proyección de fragmentos o partículas	NO TIENE APLICACIÓN		
110	Atrapamiento por o entre objetos	3	7	21 MODERADO
120	Atrapamiento por vuelco de máquinas o vehículos	3	3	9 TOLERABLE
130	Sobreesfuerzos			
130.1.	Sobreesfuerzos por manipulación de cargas	3	3	9 TOLERABLE
130.2.	Sobreesfuerzos por movilización con personas de movilidad reducida	NO TIENE APLICACIÓN		
130.3.	Sobreesfuerzos por otras causas	3	3	9 TOLERABLE

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

140	Exposición a temperaturas ambientales extremas	5	3	15 MODERADO
150	Contactos térmicos			
150.1.	Contactos térmicos por calor	1	3	3 TRIVIAL
150.2.	Contactos térmicos por frío	1	3	3 TRIVIAL
161	Contactos eléctricos directos			
161.1.	Contactos eléctricos directos baja tensión <1000 voltios			NO TIENE APLICACIÓN
161.2.	Contactos eléctricos directos alta tensión >1000 voltios			NO TIENE APLICACIÓN
162	Contactos eléctricos indirectos			
162.1.	Contactos eléctricos indirectos baja tensión <1000 voltios			NO TIENE APLICACIÓN
162.2.	Contactos eléctricos indirectos alta tensión >1000 voltios			NO TIENE APLICACIÓN
170	Exposición a sustancias nocivas o tóxicas:			
170.1.	Inhalación o ingestión accidental de sustancias nocivas			NO TIENE APLICACIÓN
170.2.	Otras formas de exposición accidental			NO TIENE APLICACIÓN

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA
PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

180	Contacto con sustancias causticas y/o corrosivas:			
180.1.	Contacto con sustancias (nocivas) que puedan producir dermatosis	NO TIENE APLICACIÓN		
180.2.	Contacto con sustancias (nocivas) que puedan producir otro tipo de lesiones externas distintas a la dermatosis.	NO TIENE APLICACIÓN		
190	Exposición a radiaciones (SOLARES)	3	3	9 TOLERABLE
200	Explosiones			
200.1.	Explosiones químicas 200.1.1. gases y vapores 200.1.2. polvo combustible	NO TIENE APLICACIÓN		
200.2.	Explosiones físicas	NO TIENE APLICACIÓN		
211	Incendio. Factores de inicio.	NO TIENE APLICACIÓN		
212	Incendio propagación	NO TIENE APLICACIÓN		
213	Incendio. Medios de lucha y señalización.	NO TIENE APLICACIÓN		
214	Incendios evacuación	NO TIENE APLICACIÓN		
220	Accidentes causados por seres vivos			
220.1.	Accidentes causados por seres vivos personas	7	3	21 MODERADO

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA
PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

220.2	Accidentes causados por seres vivos animales	5	3	15 MODERADO
230	Atropellos o golpes con vehículos			
230.1.	Atropellos o golpes con vehículos	NO TIENE APLICACIÓN		
230.2.	Accidentes de tráfico	NO TIENE APLICACIÓN		

6.2.2. CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES

CÓDIGO RIESGO	RIESGO	PROBABILIDAD	CONSECUENCIA	NIVEL DE RIESGO
310	Exposición a agentes químicos			
310.1	Vapores y gases	NO TIENE APLICACIÓN		
310.2.	Aerosoles	NO TIENE APLICACIÓN		
310.3.	Metales	NO TIENE APLICACIÓN		
310.3.1.	Agentes químicos metales: polvo	NO TIENE APLICACIÓN		
310.3.2.	Agentes químicos metales: humo metálico	NO TIENE APLICACIÓN		
320	Exposición a agentes biológicos			
320.1.	Agentes biológicos: transmisión por sangre y fluidos	3	3	9 TOLERABLE
320.2.	Agentes biológicos: transmisión aérea, contacto o hídrica.	NO TIENE APLICACIÓN		

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA
PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

330	Ruido			
330.1.	Exposición a ruido: riesgo de hipoacusia	1	3	3 TRIVIAL
330.2.	Disconfort acústico	5	3	15 MODERADO
340	Vibraciones			
340.1	Vibraciones. Cuerpo completo	3	3	9 TOLERABLE
340.2.	Vibraciones. Mano-brazo	3	3	9 TOLERABLE
350	Estrés térmico			
350.1.	Frío. Exposición a temperaturas extremas	3	3	9 TOLERABLE
350.2.	Calor. Exposición a temperaturas extremas	5	3	15 MODERADO
350.3.	Disconfort térmico	5	3	15 MODERADO
360	Exposición a radiaciones ionizantes	NO TIENE APLICACIÓN		
370	Exposición a radiaciones ionizantes no	5	3	15 MODERADO
380	Iluminación	1	3	3 TRIVIAL

6.2.3. FATIGA:

CÓDIGO RIESGO	RIESGO	PROBABILIDAD	CONSECUENCIA	NIVEL DE RIESGO
410	Carga física: posición	5	3	15 MODERADO
420	Carga física: desplazamiento	5	3	15 MODERADO

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA
PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

430	Carga física: Esfuerzo	5	3	15 MODERADO
440	Carga física			
440.1.	Carga física: movimientos repetitivos	5	3	15 MODERADO
440.2.	Manejo de cargas	NO TIENE APLICACIÓN		
440.3.	Movilización de personas con movilidad reducida	NO TIENE APLICACIÓN		
450	Mental: recepción de información	NO TIENE APLICACIÓN		
460	Mental: tratamiento de información	NO TIENE APLICACIÓN		
470	Mental: respuesta	NO TIENE APLICACIÓN		
480	Fatiga: crónica	3	1	3 TRIVIAL
490	Fatiga: visual	1	1	1 TRIVIAL

6.2.4. INSATISFACCIÓN

CÓDIGO RIESGO	RIESGO	PROBABILIDAD	CONSECUENCIA	NIVEL DE RIESGO
510	Contenido	3	1	3 TRIVIAL
520	Monotonía	3	1	3 TRIVIAL
530	Roles	3	1	3 TRIVIAL
540	Autonomía	3	1	3 TRIVIAL
550	Comunicaciones	3	1	3 TRIVIAL
560	Relaciones	3	1	3 TRIVIAL
570	Tiempo de trabajo	3	1	3 TRIVIAL

6.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A la vista de la evaluación de riesgos, las mejoras que se pueden realizar sobre nuestro diseño para aumentar su seguridad se deben centrar en el atrapamiento por o entre la máquina así como en los posibles daños causados por otras personas o por animales.

Para reducir el riesgo de atrapamiento se deberá advertir de este riesgo y colocar señalizaciones de peligro, consiguiendo así que las personas estén al tanto del riesgo y tengan más cuidado. Sin embargo, para poder proteger a personas de corta edad, que tienen mayor riesgo de atrapamiento ya que su cuerpo es menor y cabe en más huecos entre piezas de la máquina, se debería diseñar un dispositivo que, sin modificar el movimiento de la bicicleta, proteja al usuario de los atrapamientos en los huecos que forman las distintas piezas entre sí, tanto cuando la bicicleta esta parada como en movimiento.

Contemplando el problema de los posibles daños causados por animales, se colocará una valla alrededor del parque para que se imposibilite su entrada, así como advertir en la entrada de dicho parque de la prohibición de animales en el recinto rodeado por la valla.

Finalmente para reducir el riesgo de los daños causados por otras personas, se colocará una ficha delante de la máquina, la cual contendrá una serie de normas, así como la edad mínima y máxima y el peso máximo de utilización de la misma.

7. ESTUDIO ECONÓMICO

En este punto se realizará un estudio de todos los costes, tanto los directos como de los indirectos y se obtendrá un coste total de cada unidad al que se aplicará el beneficio que deseamos conseguir para saber cuál es el precio al que debemos vender cada bicicleta estática que produzcamos.

7.1. COSTES DIRECTOS

Los costes directos son aquellos que se pueden asociar a la producción de un producto de forma muy clara, y que por tanto sólo deben figurar en la contabilidad de coste de ese producto. Los más habituales son las materias primas, que pueden extraerse directamente de la naturaleza o haber sido elaborados previamente por otra empresa, y la mano de obra directa, la cual se relaciona directamente con el producto ya que se encarga de su elaboración.

7.1.1. COSTES DE DISEÑO

Suponemos que el diseño se ha estado realizando durante 30 días con una jornada laboral de 4 horas, teniendo en cuenta un precio de 25 €/hora, el precio de diseño sería 3000€.

Los costes de diseño se quieren amortizar en 3500 unidades producidas, por ello la amortización computada a cada unidad es de 0,86€. Dicho coste, irá en perjuicio del beneficio en las primeras 3500 unidades vendidas.

7.1.2. COSTES DE FABRICACIÓN PIEZAS

Para los costes de fabricación de piezas se realizará un cuadro resumen con los costes materiales y las actividades necesarias para fabricar cada pieza.

Para ello necesitamos saber el coste de una hora de trabajo. Comenzaremos calculando las horas laborables del año, dichas horas dependen del convenio. Supondremos que dicho convenio consta de 148 días no laborables (52 sábados, 52 domingos, 16 festivos, contando locales, nacionales y navidad, 3 días libres y 25 días de vacaciones). Por lo tanto

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

suponiendo un año no bisiesto tendremos 217 días laborables al año.

Teniendo en cuenta que una jornada laboral es de 8 horas:

$$\frac{217 \text{ días}}{\text{año}} \cdot \frac{8 \text{ horas}}{\text{día}} = 1736 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Según el instituto nacional de estadística (INE) el sueldo anual más frecuente es de 16497,40€/año, el cual se reparte en 14 pagas. Por lo que al mes se recibiría un sueldo de 1178,38€, recibiendo uno extra en navidad y verano (cada 6 meses). De todo ello podemos extraer:

$$\frac{16497,40 \text{ €/año}}{1736 \text{ horas/año}} = 9,50 \text{ €/hora}$$

Además de esto, la empresa debe de pagar las cotizaciones sociales que suponen un 34% a mayores, por lo que en realidad el coste de mano de obra directa es de:

$$9,50 \cdot 1,34 = 12,73 \text{ €/hora}$$

Además del coste del operario, el coste de una hora de máquina debe incluir la amortización y el gasto eléctrico de dicha máquina.

Según la Agencia Tributaria el periodo máximo de años para la amortización de maquinaria es de 18 años, sin embargo definiremos los periodos de amortización según la máquina, siempre sin sobrepasar ese límite. Asimismo necesitamos definir las horas que estará trabajando cada máquina, suponiendo que tenemos tres turnos en nuestra fábrica, las horas anuales serán de $1736 \cdot 3 = 5208$ horas al año.

La última estadística sobre el precio de la electricidad en países europeos revela que el precio del kWh en España en 2016 era de 0,103€/kWh, por lo que este será el coste energético que utilizaremos.

MÁQUINA	COSTE COMPRA	AÑOS AMORTIZACIÓN	kW	kWh	coste imputable a una hora
CORTADORA	20000	16	5,5	0,567	0,81 €
FRESA	100000	13	4	0,412	1,89 €
TREN DOBLAJE	30000	15	5,5	0,567	0,95 €
SOLDADURA TIG	40000	12	0,5	0,052	0,69 €
MÁQUINA PINTURA	2000	18	0,5	0,052	0,07 €

Al tener máquinas autónomas capaces de realizar las tareas por sí mismas, el operario que utilice dicha máquina no tendrá que utilizar el 100% de su tiempo en una máquina, sino que podrá estar revisando varias dependiendo de la autonomía de la máquina y de la complejidad de la actividad que esté realizando la misma. Uniendo todos estos factores, obtenemos la siguiente tabla de costes horarios para cada máquina:

MÁQUINA	% tiempo operario	coste hora de máquina
CORTADORA	30	4,63 €
FRESA	90	13,35 €
TREN DOBLAJE	40	6,04 €
SOLDADURA TIG	65	8,97 €
MÁQUINA PINTURA	100	12,80 €

7.1.2.1. MANIVELA

MANIVELA	CANTIDAD	UNIDAD	COSTE/UNIDAD	COSTE
ACERO	1,312	kg	5,00	6,56 €
CORTAR	0,17	horas	4,63	0,79 €
FRESA	1	horas	13,35	13,35 €
SOLDADURA TIG	0,2	horas	6,04	1,21 €
PINTURA	0,2	horas	8,97	1,79 €
TOTAL				23,69 €

7.1.2.2. BIELA

BIELA	CANTIDAD	UNIDAD	COSTE/UNIDAD	COSTE
ACERO	3,636	kg	5,00	18,18 €
CORTAR	0,17	horas	4,63	0,79 €
FRESA	1	horas	13,35	13,35 €
SOLDADURA TIG	0,5	horas	6,04	3,02 €
PINTURA	0,83	horas	8,97	7,44 €
TOTAL				42,78 €

7.1.2.3. BALANCÍN

BALANCÍN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTE/UNIDAD	COSTE
ACERO	2,400	kg	5,00	12,00 €
CORTAR	0,3	horas	4,63	1,39 €
FRESA	1,5	horas	13,35	20,02 €
SOLDADURA TIG	0,5	horas	6,04	3,02 €
PINTURA	1	horas	8,97	8,97 €
TOTAL				45,39 €

7.1.2.4. BANCADA

BANCADA	CANTIDAD	UNIDAD	COSTE/UNIDAD	COSTE
ACERO	11,986	kg	5,00	59,93 €
CORTAR	0,5	horas	4,63	2,31 €
FRESA	2	horas	13,35	26,69 €
SOLDADURA TIG	1	horas	6,04	6,04 €
PINTURA	1,5	horas	8,97	13,45 €
TOTAL				108,43 €

7.1.2.5. SOPORTE PIE

SOPORTE	CANTIDAD	UNIDAD	COSTE/UNIDAD	COSTE
ACERO	4,516	kg	5,00	22,58 €
CORTAR	0,17	horas	4,63	0,79 €
FRESA	1,5	horas	13,35	20,02 €
SOLDADURA TIG	0,17	horas	6,04	1,03 €
PINTURA	0,5	horas	8,97	4,48 €
TOTAL				48,90 €

7.1.3. MONTAJE

Al cliente se le ofrecerá la posibilidad de que sea la misma empresa la que le monte la bicicleta.

DISEÑO DE UN MECANISMO ARTICULADO PARA LA PRÁCTICA DE EJERCICIO FÍSICO: BICICLETA ELÍPTICA

El montaje se realizará en el mismo lugar donde estará situada la bicicleta. El proceso de montaje consta de dos fases, en la primera se procederá a preparar el cubículo para hormigonar la bancada y anclarla así al suelo. La segunda comenzará una vez esté fraguado el hormigón y en ella se realizará la unión de todas las piezas mediante los tornillos y tuercas necesarios, así como la colocación de las tapas de plástico.

La duración de ambas fases de dicho montaje será de tres horas, y la realizarán dos personas, por lo que el coste de mano de obra del montaje será de 76,38€. Además de la mano de obra, se debe tener en cuenta el desplazamiento hasta el lugar donde se realice el montaje, así como de los materiales utilizados a mayores para el mismo, como el hormigón. Asimismo debemos obtener un beneficio de dicho montaje.

Teniendo en cuenta un 32% para el material y costes indirectos del montaje y un 45% de beneficio:

MONTAJE	COSTE
COSTES DIRECTOS	76,38 €
COSTES INDIRECTOS	24,44 €
COSTE TOTAL	100,82 €
BENEFICIO	45,37 €
PRECIO	146,19 €

El montaje de la bicicleta tendrá un precio final de 146,19€, que se abonará a mayores del precio final de la bicicleta.

7.1.4. COSTES DIRECTOS TOTALES.

BICICLETA ELÍPTICA	Nº UNIDADES	COSTE/UNIDAD	COSTE
ARANDELA M6	8	0.06	0.48 €
TORNILLO M6	8	0.60	4.80 €
TUERCA M24	4	1.16	4.64 €
CAPUCHON TUERCA M24	4	0.41	1.64 €
RODAMIENTOS	10	5.79	57.90 €
TAPAS PLÁSTICO	10	0.20	2.00 €
EMBELLECEDOR BANCADA	1	1.50	1.50 €
MANIVELA	2	23.69	47.39 €
BIELA	2	42.78	85.55 €
BALANCÍN	2	45.39	90.79 €
CILINDROS ACERO	4	0.80	3.20 €
BANCADA	1	108.43	108.43 €

SOPORTE PIES	2	48.90	97.79 €
GOMA MANILLAR Y SOPORTE	0.2	7.45	1.49 €
TOTAL			506.10 €

7.2. COSTES INDIRECTOS

Los costes indirectos son aquellos que afectan al proceso productivo en general, por lo que no se puede asignar directamente a un solo producto. Existen costes indirectos de producción, los cuales son necesarios para la producción, como por ejemplo la mano de obra indirecta y costes indirectos generales, los cuales no son necesarios para fabricar, tales como los comerciales.

Consideraremos para este caso unos costes indirectos que se aproximarán por un 32% de los costes directos, por lo tanto serán 161,95€.

7.3. COSTE TOTAL

El coste total será la suma de los costes directos y los indirectos, es decir, 668,06€.

7.4. BENEFICIO

El beneficio será la diferencia entre el coste de fabricación y el precio de venta. Obtendremos un margen del 45%, es decir, obtenemos 300,63€ por cada unidad vendida.

7.5. PRECIO FINAL

El precio de venta final será la suma del coste de fabricación y el beneficio, siendo el precio de venta 968,68€.

COSTES DIRECTOS	506,10 €
COSTES INDIRECTOS	161,95 €
COSTE TOTAL	668,06 €
BENEFICIO	300,63 €
PRECIO	968,68 €

8. CONCLUSIONES

Este trabajo ha concluido con el diseño de la bicicleta elíptica biosaludable. A lo largo del mismo se han ido haciendo mejoras de un prototipo inicial mediante los diferentes estudios y cálculos realizados.

Se ha realizado una bicicleta elíptica biosaludable robusta, segura, con un diseño actual, que aporta visibilidad al ambiente o al parque dónde la sitúen.

Se ha conseguido un diseño adaptable a un rango de edad bastante amplio gracias al cual las personas tanto jóvenes como adultas pueden ser usuarios de esta máquina y utilizarla en base a sus necesidades, ya que pueden adaptar el ritmo de funcionamiento de la misma y hacer diferentes ejercicios para conseguir mejorar su salud tanto mental como física.

Inicialmente se describió la máquina biosaludable que ha sido el objeto del estudio durante todo el trabajo. Tras ello se ha realizado un estudio con ayuda del programa Working Model, mediante el cual se han podido obtener las primeras dimensiones del diseño, que han sido la referencia para realizar el modelado de la máquina en tres dimensiones (3D) mediante el programa Inventor Professional de Autodesk.

Gracias a los ensayos realizados en Working Model, se ha podido calcular el perfil de todas las barras, así como los rodamientos que deben estar colocados en la unión de dichas barras para el correcto funcionamiento del mecanismo.

Una vez calculado todo esto, se realizaba el modelo en 3D de todas las piezas que componen el mecanismo completo así como de su ensamblaje. Además se necesitaba calcular los elementos normalizados de unión entre piezas. Una vez finalizado el modelo en Autodesk Inventor, se realizan los planos y unos diagramas de procesos mediante los cuales se explican los pasos a seguir para la correcta fabricación de todas las piezas de la máquina.

Finalmente se realizaba un estudio de seguridad, en el cual se comprueba la seguridad del usuario durante el tiempo que está utilizando la bicicleta elíptica, seguido por un estudio económico, en el cual se obtienen unos costes aproximados de fabricación y montaje así como el precio de venta al público.

Para las líneas futuras se podrá estudiar la posibilidad de:

- La bicicleta sea móvil, en vez de anclarla al suelo.
- Poder obtener energía del movimiento que realizan las personas en ella.

9. BIBLIOGRAFÍA:

LIBROS:

- Agulló, J. “Mecánica” Ed CPDA. UPC.
- Budynas, Richard "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley". McGraw-Hill. 2012.
- Cardona, S. “Teoría de máquinas”.UPC, 2001.
- Carmona, A. “Aspectos antropométricos de la población laboral española aplicados al diseño industrial”. INSHT, 2003.
- Consejería de Administración Autonómica “Guía para la evaluación de riesgos laborales en la Administración de la Comunidad de Castilla y León y sus Organismos Autónomos”. Valladolid. 1 de septiembre de 2006.
- Garrido, Jose. A.; Foces, Antonio “Resistencia de Materiales”. Universidad de Valladolid. 2009.
- Gitzgerald, Robert H.; Kaufer, Herbert; Malkani, Arthur L. “Ortopedia, Volumen 1”. Editorial médica panamericana. Enero 2004.
- González Bautista T., Del Río Gómez G., Tena Sánchez J. y Torres Vega B. “Fundamentos de máquinas. Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección”. Editex. 2017.
- Meriam, J.L; Kraige, L.G. “Dinámica-mecánica para ingenieros”. Ed. Reverté. 1997.
- Nodin, Margareta; Frankel, Victor H.; “biomecánica básica del sistema musculoesquelético”. 1ª ed. En español. McGraw-Hill Interamericana. 2004.
- Ortiz Berrocal, L. “Resistencia de Materiales”. Ed.McGraw Hill. 2007.
- Payne V.G. e Isaacs M.D. “Human Motor Development. A lifespan approach”. Mayfield: Mountain View. 1987.
- Prontuario ensidesa “Manual para cálculo de estructuras metálicas. Tomo I. Valores estáticos. Resistencia de materiales. Estructuras elementales” 1982.

- Sánchez Lacuesta, J. Javier “Biomecánica de la marcha humana normal y patológica”. Instituto de Biomecánica de Valencia. 1999.

ARTÍCULOS:

- Hidalgo, S. “Llegan los parques geriátricos”. El País. 9 de enero 2006. España.
- Artículo sobre la evaluación de riesgos del INSHT:
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Guias_Ev_Riesgos/Ficheros/Evaluacion_riesgos.pdf

CATÁLOGOS:

- “Aceros inoxidables, aleaciones especiales. Catálogo general”. Hastinik, S.A. Grupo Hastinik. 2015.
- “Catálogo general rodamientos NSK”.
<https://sicoris-sa.com/pdf/catalogos/nsk-rodamientos-catalogo-general-catalogo.pdf>
- “Catálogo General SKF”. Mayo 2006.

PÁGINAS WEB:

- Beneficios bicicletas elípticas:
<https://www.gymcompany.es/blog/2013/03/04/6-razones-para-ejercitar-en-bicicletas-elipticas/#.WpfOGujOVpY>
- “Clasificación aceros inoxidables”. Calvosealing, the fluid sealing specialist.
http://calvosealing.com/sites/default/files/acero_inoxidable_clasificacion_0.pdf

- Clasificación de los aceros inoxidables:
<http://www.bonnet.es/clasificacionacerinox.pdf>
- Descripción elementos parques biosaludables:
[http://hoxe.vigo.org/movemonos/sanidade_pbio.php?lang=cas#/
<http://www.forjasestilo.es/images/pdf/catalogo-parques-biosaludables.pdf>](http://hoxe.vigo.org/movemonos/sanidade_pbio.php?lang=cas#/)
- Descripción parque biosaludable:
<http://www.entornoaccesible.es/productos/parques-biosaludables/>
- Estadísticas de los precios de la electricidad en países europeos:
[http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Electricity_prices,_second_half_of_year,_2014-2016_\(EUR_per_kWh\)_YB17.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Electricity_prices,_second_half_of_year,_2014-2016_(EUR_per_kWh)_YB17.png)
- Historia parques biosaludables:
<https://es.slideshare.net/mariapilarmoracamach/circuitos-biosaludables-o-parques-geritricos>
- Maquinaria cnc:
<https://www.datron.de>
- Maquinaria para cortar tubos de acero:
<http://www.simecsrl.it>
- Ruiz Ortiz, M.R. “Tablas antropométricas infantiles. Niños y niñas de 5 a 10 años”. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, 2001.
http://www.bdigital.unal.edu.co/3488/1/Ruiz_Manuel%2C_tablas_antropometricas.pdf

10. ANEXOS

10.1. ESTUDIOS ESPAÑOLES DE CRECIMIENTO

10.2. ESTUDIO ANTROPOMÉTRICO DE NIÑOS ENTRE 5 Y 10 AÑOS

10.3. TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE

10.4. CATÁLOGO HASTINIK GENERAL

10.5. CATÁLOGO SKF

10.6. CATÁLOGO EJES

10.7. TORNILLO DIN 84

10.8. CATÁLOGO NORMALIZADO TUERCAS

10.9. GUÍA EVALUACIÓN RIESGOS LABORALES

11. PLANOS

11.1. MANIVELA COMPLETA 10.

11.2. MANIVELA 10.1.

11.3. MANIVELA 10.2.

11.4. MANIVELA 10.3.

11.5. BIELA COMPLETA 20.

11.6. BIELA 20.1.

11.7. BIELA 20.2.

11.8. BIELA 20.3.

11.9. BALANCÍN COMPLETO 30.

11.10. BALANCÍN 30.1.

11.11. BALANCÍN 30.2.

11.12. BALANCÍN 30.3.

11.13. BALANCÍN 30.4.

11.14. BALANCÍN 30.5.

11.15. BANCADA COMPLETA 40.

11.16. BANCADA 40.1.

11.17. BANCADA 40.2.

11.18. BANCADA 40.3.

11.19. BANCADA 40.4.

11.20. BANCADA 40.5.

11.21. BANCADA 40.6. Y 40.7.

11.22. BANCADA 40.8.

- 11.23. BANCADA 40.9.
- 11.24. BANCADA 40.10.
- 11.25. SOPORTE PIE COMPLETO 50.
- 11.26. SOPORTE PIE 50.1.
- 11.27. SOPORTE PIE 50.2.
- 11.28. EJE PAR A 60.
- 11.29. TAPA PLÁSTICO 70.
- 11.30. ENSAMBLAJE