



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño y desarrollo de un reposapiés con funciones automatizadas

Grado en Ingeniería Mecánica

Autora: Paula María Fernández Villalobos

Tutor: Francisco José Ortiz Zamora

Cotutor: José Macías García

MÁLAGA, Enero de 2.023



Resumen

En el presente proyecto se realiza el diseño y desarrollo de un reposapiés automatizado.

Se desarrolla paso a paso el proceso del diseño completo, desde la elección de los materiales y placas que se van a utilizar en los diferentes aspectos del estudio, pasando por la soldadura, montaje y comprobación de cada uno de los componentes, el desarrollo de los códigos de programación para su uso se ha realizado con la ayuda del software Arduino, y para modelar los diseños 3D se ha utilizado SolidWorks, para posteriormente imprimir su prototipo, y fabricar el dispositivo completo a escala real.

Para realizar todo este trabajo se han utilizado los siguientes programas: Arduino, una plataforma de creación de electrónica de código abierto, SolidWorks, un potente software de modelado y simulación de piezas, y Ultimaker Cura, un software de código abierto para la impresión 3D de los elementos.

Todo este proceso tiene de fondo como objetivo el aprendizaje, pues conlleva el desarrollo de muchos conceptos estudiados durante años en las distintas asignaturas del grado.

Palabras Clave

Diseño, desarrollo, reposapiés automatizado, programación, soldadura, Arduino, SolidWorks, Ultimaker Cura, diseño 3D, prototipo.



Índice General

1. Introducción.....	19
1.1. Objeto.....	19
1.2. Antecedentes	19
2. Marco teórico.....	20
2.1. El sedentarismo	20
2.1.1. El sedentarismo por comunidades autónomas y procedencia	22
2.1.2. Causas y consecuencias del sedentarismo	23
2.1.3. Sedentarismo en el entorno laboral.....	24
2.1.3.1. Consecuencias del sedentarismo laboral	25
2.1.3.2. Consejos para evitar problemas derivados del sedentarismo laboral	25
2.2. Ergonomía	26
2.2.1. Objetivo	26
2.2.2. Ergonomía en el puesto de trabajo.....	27
2.2.2.1. Reposapiés	28
3. Metodología.....	29
3.1. Introducción	29
3.2. Reposapiés automatizado.....	29
3.2.1. Características.....	30
3.2.2. Diseño estructural	32
3.2.3. Montaje electrónico	34
3.2.3.1. Células de carga.....	35
3.2.3.2. Fuente de alimentación e interruptor	36
3.2.3.3. Servomotor.....	37
3.3. Mando a distancia	37
3.3.1. Características.....	37
3.3.2. Montaje electrónico	38
3.3.2.1. Cargador e interruptor.....	38
3.3.2.2. Pulsadores	38
3.3.2.3. Leds.....	39
3.3.2.4. Montaje completo del mando a distancia	40
4. Materiales escogidos.....	41



4.1.	Introducción	41
4.2.	Reposapiés.....	41
4.2.1.	Módulo Wi-Fi ESP32	41
4.2.2.	Fuente de alimentación	42
4.2.3.	Células de carga	43
4.2.4.	Interruptor deslizante vertical	44
4.2.5.	Servomotor.....	45
4.2.6.	Materiales para la estructura	46
4.3.	Mando a distancia	48
4.3.1.	Módulo Wi-Fi ESP32	48
4.3.2.	Interruptor	48
4.3.3.	Pulsador	49
4.3.4.	Resistencia	49
4.3.5.	Leds.....	50
4.3.6.	Cargador.....	50
4.3.7.	Batería	51
5.	Softwares utilizados	53
5.1.	Introducción	53
5.2.	Arduino	53
5.2.1.	Funcionamiento	54
5.2.2.	Ventajas	54
5.3.	SolidWorks.....	55
5.4.	Ultimaker Cura.....	55
6.	Programación del prototipo.....	57
6.1.	Introducción	57
6.2.	Código de programación.....	57
6.2.1.	Receptor	57
6.2.1.1.	Servomotor.....	58
6.2.1.2.	Células de carga	58
6.2.2.	Emisor	58
6.2.3.	Comunicación vía Wi-Fi entre microcontroladores	58
7.	Modelado y prototipado	60
7.1.	Introducción	60
7.2.	Modelado del reposapiés.....	60



7.2.1.	Carcasa para los cables	61
7.3.	Modelado del mando a distancia.....	62
7.4.	Prototipado	65
7.4.1.	Prototipado de la carcasa para los cables del reposapiés.....	65
7.4.2.	Prototipado del mando a distancia.....	67
8.	Fabricación del dispositivo.....	69
8.1.	Introducción	69
8.2.	Pasos que seguir para la fabricación del reposapiés	69
9.	Conclusiones.....	82
10.	Planos	83
11.	Estudio económico	85
12.	Bibliografía.....	109

Índice de Anexos

A. Cálculo del torque del servomotor	115
A.1. Distribución del peso de una persona sentada	115
A.2. Peso de los zapatos	115
A.3. Funcionamiento del par motor de un servo	116
A.3.1 Relación entre el ángulo de la fuerza y la fuerza de torque	116
A.3.2 Cálculo de la fuerza de torque de un servo en función de la posición y el ángulo de la fuerza	116
A.4. Bases de cálculo	118
A.4.1 Zona de apoyo más desfavorable del reposapiés	118
A.4.2 Definición de cargas	118
A.4.3 Comparación de la longitud de un pie según su tallaje	119
A.5. Hipótesis de carga	121
A.5.1 Caso de uso normal	121
A.5.2 Caso de uso más desfavorable	122
B. Códigos de programación en Arduino	124
C. Estudio de mercado	132
D. Ficha técnica	134
E. Manual para el usuario	135

Índice de Figuras

Figura 1 – Porcentaje global del sedentarismo	20
Figura 2 – Número medio de horas de ejercicio físico por semana.....	21
Figura 3 – Porcentaje de sedentarismo entre hombres y mujeres.....	21
Figura 4 – Sedentarismo por comunidades autónomas.....	23
Figura 5 – Regulable en inclinación.....	30
Figura 6 – Dimensiones mínimas.....	31
Figura 7 – Primer boceto del diseño	33
Figura 8 – Segundo boceto del diseño	33
Figura 9 – Boceto del diseño final	34
Figura 10 – Conexiones electrónicas Células de carga – ESP32.....	35
Figura 11 – Conexiones electrónicas Fuente de Alimentación – ESP32 – Servomotor – Interruptor.....	36
Figura 12 – Conexiones electrónicas Servomotor – ESP32	37
Figura 13 – Conexiones electrónicas Cargador – Interruptor – ESP32.....	38
Figura 14 – Conexiones electrónicas Pulsador – Resistencia – ESP32.....	39
Figura 15 – Conexiones electrónicas Leds – ESP32	39
Figura 16 – Conexiones reales del mando a distancia	40
Figura 17 – Módulo Wi-Fi ESP32 D1 mini.....	42

Figura 18 – Fuentes de alimentación conmutadas 50W 5V 10A	43
Figura 19 – Célula de carga	44
Figura 20 – Interruptor deslizante vertical	45
Figura 21 – Servomotor impermeable DS3218	46
Figura 22 – Base de madera reciclada.....	47
Figura 23 – Chapón reciclado	47
Figura 24 – Chapa lagrimada reciclada.....	48
Figura 25 – Pulsador reciclado.....	49
Figura 26 – Resistencia de 10k Ω	50
Figura 27 – Cargador TIPO U para batería de litio.....	51
Figura 28 – Batería LiPo 650 mAh.....	52
Figura 29 – Diseño 3D del reposapiés	60
Figura 30 – Diseño 3D de la carcasa para el cableado.....	61
Figura 31 – Diseño translucido de la carcasa para cables.....	62
Figura 32 – Diseño 3D del mando a distancia	63
Figura 33 – Diseño translucido del mando a distancia	63
Figura 34 – Explosionado del mando a distancia	64
Figura 35 – Prototipo en PLA de la carcasa para los cables	65
Figura 36 – Vista interior de la carcasa para los cables	66

Figura 37 – Prototipo en PLA de la parte delantera del mando a distancia	67
Figura 38 – Prototipo en PLA de la parte trasera del mando a distancia....	67
Figura 39 – Prototipo en PLA del mando a distancia.....	68
Figura 40 – Chapa lagrimada cortada	69
Figura 41 – Cortando con la sierra de calar	70
Figura 42 – Tableros de madera y chapón cortados.....	70
Figura 43 – Pletina metálica.....	71
Figura 44 – Tablero chapón taladrado	72
Figura 45 – Tablero de madera taladrado	72
Figura 46 – Chapa lagrimada taladrada	73
Figura 47 – Taladro vertical	73
Figura 48 – Pletina y soporte servomotor taladrado	74
Figura 49 – Lijando chapa lagrimada.....	74
Figura 50 – Lijando taladros	75
Figura 51 – Lijando elementos metálicos	75
Figura 52 – Tuercas remachadas.....	76
Figura 53 – Servomotor con la carcasa superior remachada	76
Figura 54 – Atornillando el servomotor al soporte	77
Figura 55 – Atornillando Soporte – Pletina metálica – Madera	77

Figura 56 – Soportes atornillados	78
Figura 57 – Pegando células de carga a la base de madera	78
Figura 58 – Atornillando Base de madera – Chapón.....	79
Figura 59 – Cable de la fuente de alimentación.....	79
Figura 60 – Montaje de las células de carga	80
Figura 61 – Montaje Fuente de alimentación.....	80
Figura 62 – Montaje electrónico completo	81
Figura 63 – Reposapiés terminado	81
Figura 64 – Fuerza de torque de un servo en función de la posición y el ángulo de la fuerza	117
Figura 65 – Esquema de cargas puntuales	118
Figura 66 – Esquema de posición del servomotor	119
Figura 67 – Esquema de posición de la carga-talón.....	119
Figura 68 – Esquema de comparación de longitud del pie según su tallaje	120
Figura 69 – Esquema disposición de los pies para caso desfavorable.....	122



Índice de Tablas

Tabla 1 – Estudio económico	85
Tabla 2 – Estudio económico de precio de venta al público.....	86
Tabla 3 – Tallaje del pie en centímetros	120

MEMORIA

1. Introducción

1.1. Objeto

El objetivo del presente trabajo es realizar el diseño, desarrollo y fabricación de un reposapiés automatizado que favorezca la motricidad en las piernas de los trabajadores que desarrollan su jornada laboral, preferentemente, de forma sentada, de tal forma que se reduzcan los riesgos ergonómicos asociados al sedentarismo de dicha postura.

La selección de los materiales, así como las dimensiones del dispositivo son fundamentales para conseguir la mayor efectividad de resultados.

Asimismo, se quiere fabricar a escala real dicho dispositivo para verificar su funcionalidad con el fin de mejorar el bienestar del trabajador.

Este Trabajo Fin de Estudios tiene principalmente una motivación de carácter académico, al ser requisito para la obtención del título de Graduado en Ingeniería Mecánica por la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Málaga.

1.2. Antecedentes

España es el cuarto país más sedentario de Europa, el 15% de la población española no realiza ningún tipo de ejercicio. Se conoce como sedentarismo aquellos períodos de tiempo en los que se realizan actividades pero que consumen muy poca energía, es decir, trabajando sentados o estudiando entre otros, y no debería pasar desapercibido ya que trae consigo problemas de circulación que pueden terminar siendo peligrosos para la salud.

Por esta razón se quiere fabricar un reposapiés automatizado, previo estudio para las condiciones de este, cuya función principal es la flexión y extensión de pies con el fin de mejorar la circulación sanguínea de pies y piernas, y conseguir un mayor confort para aquellas personas que tienen que pasar muchas horas sentadas y evitar complicaciones futuras.

2. Marco teórico

2.1. El sedentarismo

Actualmente se conoce como sedentarismo aquella persona que realiza menos de noventa minutos de actividad física semanal, así se define el sedentarismo según La Organización Mundial de la Salud (OMS) (Sedentarismo: causas y consecuencias, 2020).

Un estudio revela que el 15% de la población española no realiza ningún tipo de actividad física, ocupando el cuarto lugar con el porcentaje más alto entre los países europeos considerados. Le superan Francia con un 22% de la población sedentaria, y por otra parte con un 26% de sedentarismo Italia y Polonia. Entre aquellas personas que realizan actividad física, el deporte más destacado es el fitness. A nivel global España se encuentra en la mitad de la tabla en el décimo puesto (M.A., 2021).

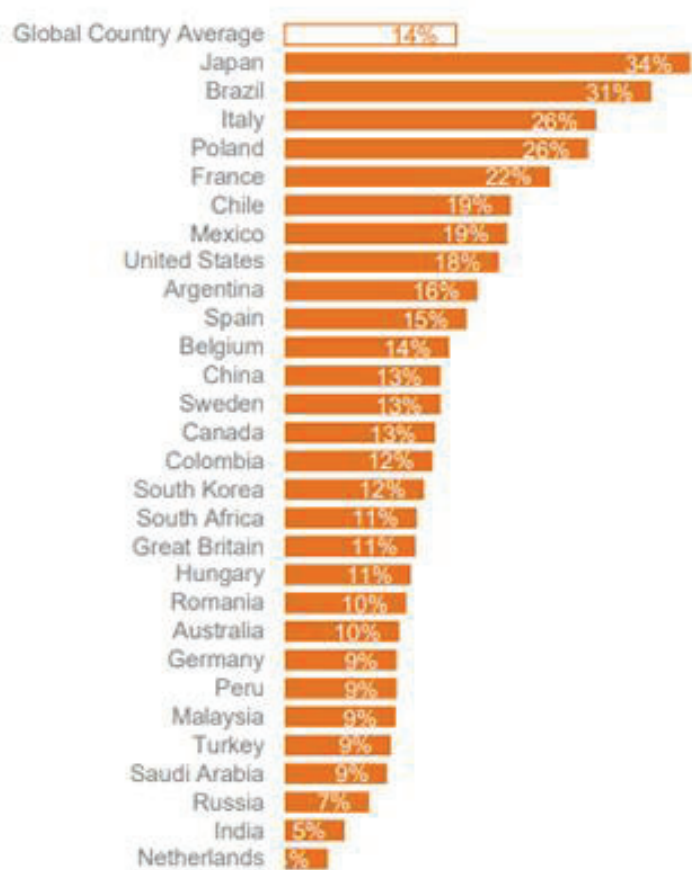


Figura 1 – Porcentaje global del sedentarismo (IPSOS)

Respecto a las horas dedicadas semanalmente al ejercicio físico, España tampoco se encuentra en el mejor lugar, ya que mientras la media de los 29 países se encontraría en 6,1 horas a la semana, los españoles tienen una media de 5,2 horas semanales.

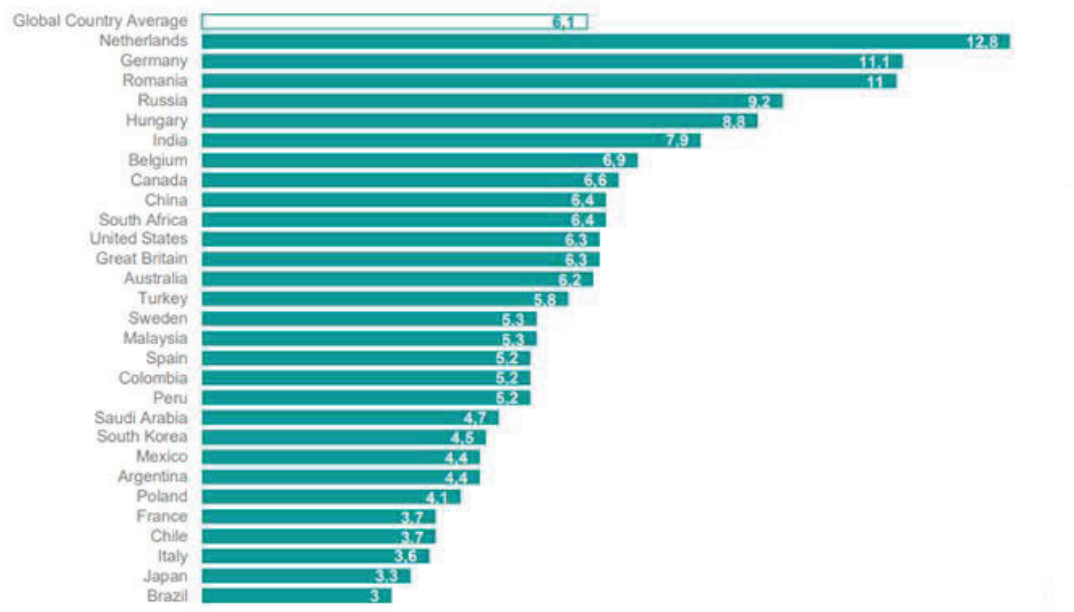


Figura 2 – Número medio de horas de ejercicio físico por semana (IPSOS)

Cabe destacar que las mujeres, estudiando todas las franjas de edad, realizan menos ejercicio físico que los hombres, con una media del 44,48% de sedentarismo frente al 35,4% que exponen los hombres. La diferencia de porcentajes se hace más notoria entre los jóvenes y los mayores de 85 años. En la siguiente figura se muestran los resultados (2playbook, 2020).

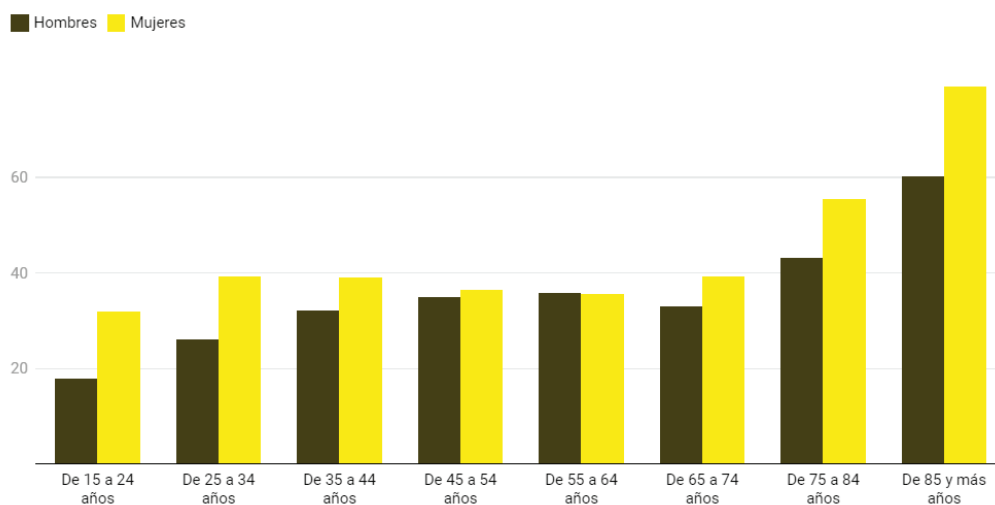


Figura 3 – Porcentaje de sedentarismo entre hombres y mujeres (INE)

Una encuesta europea de salud en España realizada en 2020 destaca las siguientes conclusiones entre la diferencia existente entre hombres y mujeres respecto al sedentarismo. Dichas conclusiones son las siguientes:

- La separación por sexos se reduce hasta llegar al punto en el que sus cifras llegan a igualarse en la franja de edad correspondiente desde los 35 hasta los 65 años.
- A partir de los 74 años se puede observar un mayor grado de sedentarismo, sobre todo entre las mujeres.

Las cifras respecto al sedentarismo realizadas en 2020 siguen siendo elevadas, a pesar de ello, han mejorado levemente frente a la encuesta europea de salud en España elaborada en 2014, mostrando que el porcentaje de inactividad ha disminuido, principalmente en mujeres de entre 15 y 24 años. Por el contrario, en el nivel de sedentarismo en el caso de los hombres también ha descendido, pero en general se mantiene más estable.

Alfonso Jiménez, catedrático de Ejercicio Físico y Salud en el Centro de Estudios del Deporte de la Universidad Rey Juan Carlos y director de THINK Active, afirma que esta diferencia es debida generalmente a que las mujeres suelen tener menos tiempo libre para realizar actividad física por la mala gestión que todavía existe a la hora de organizar la vida familiar, en la mayoría de los casos siguen siendo las mujeres las que se encargan de las tareas del hogar y del cuidado de los hijos.

El experto anteriormente mencionado destaca la diferencia entre sedentarismo e inactividad física ya que son conceptos diferentes. Por una parte, el sedentarismo hace referencia a la falta de actividad física en el desarrollo de la tarea principal del día a día, el trabajo. Por otro lado, la inactividad física hace referencia a la falta de ejercicio en el tiempo libre, fuera del trabajo.

También se ha descubierto que la falta de ejercicio físico está relacionada con el puesto de trabajo y la responsabilidad que ocupa una persona en su trabajo, siendo esta falta de actividad física más habitual entre las personas que tienen menor formación o responsabilidades (2playbook, 2020).

2.1.1. El sedentarismo por comunidades autónomas y procedencia

El mayor porcentaje de sedentarismo se encuentra Ceuta, con un 61,48%, seguida de cerca por Cantabria (60,42%) y Baleares (con un 49,73%). Las comunidades que se encuentran en un porcentaje intermedio son Cataluña y Madrid entre otros, por último, aquellas que tiene el porcentaje más bajo son Asturias, con un 20,87%, Extremadura tiene un porcentaje de 22,11% y Navarra 23,22%. En la figura 4 se muestran gráficamente estos contenidos.

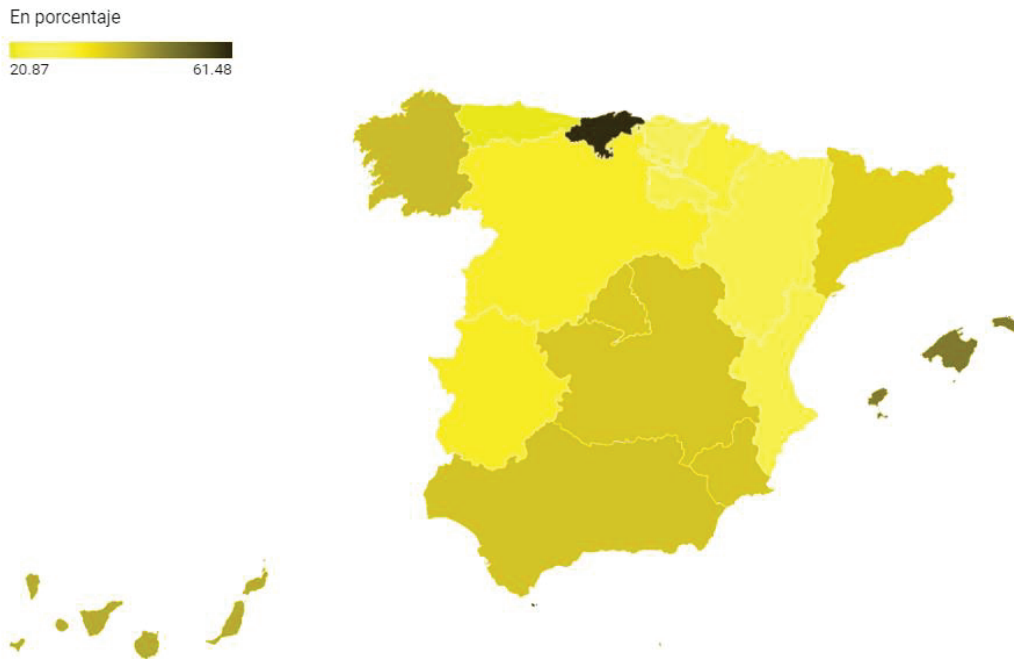


Figura 4 – Sedentarismo por comunidades autónomas (INE)

2.1.2. Causas y consecuencias del sedentarismo

Las principales causas de muerte en todo el mundo son las enfermedades crónicas no transmisibles, el cáncer y las enfermedades cardiovasculares.

Las enfermedades crónicas no transmisibles (hipertensión arterial, enfermedades cardiovasculares, diabetes) son dolencias que conllevan un progreso lento y son de larga duración. Esta enfermedad es la responsable del 70% de los fallecimientos que ocurren en el mundo, en torno a 40 millones de personas cada año. Un gran porcentaje de estas muertes equivalen a edades entre 30 y 69 años, cifras muy elevadas, es por ellos que se debe hacer hincapié en aumentar los hábitos de vida siendo estos más saludables desde tempranas edades.

La OMS destaca que al menos un 60% de la población no realiza ningún tipo de actividad, el cuál es necesario para obtener beneficios para la salud. En 1994 la OMS declaró el sedentarismo como un grave problema de salud (Hospital del niño, 2020).

Según la OMS la actividad física regular (Hospital del niño, 2020):

- Reduce el riesgo de muerte prematura.

- Reduce el riesgo de muerte por enfermedad cardíaca o accidente cerebrovascular, que representan un tercio de la mortalidad.
- Reduce hasta en un 50% el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo II o cáncer de colon.
- Contribuye a prevenir la hipertensión arterial, que afecta a un quinto de la población adulta del mundo.
- Contribuye a prevenir la aparición de la osteoporosis, disminuyendo hasta en un 50% el riesgo de sufrir una fractura de cadera.
- Disminuye el riesgo de padecer dolores lumbares y de espalda.
- Contribuye al bienestar psicológico, reduce el estrés, la ansiedad, la depresión, y los sentimientos de soledad.
- Ayuda a controlar el peso disminuyendo el riesgo de obesidad hasta en un 50%.
- Ayuda a desarrollar y mantener sanos los huesos, músculos y articulaciones.

Lo más difícil para las personas sedentarias es empezar a realizar algún tipo de ejercicio, sobre todo si ha hecho muy poco o nunca lo ha realizado, para poder empezar a cambiar este hábito se debe hacer de forma gradual, bajo revisión médica y recomendaciones que se reciban de los respectivos profesionales.

Los niños en edades tempranas se suelen mantener activos durante el día, pero a medida que van haciéndose mayores disminuye el tiempo invertido a la actividad física, hasta llegar a la adolescencia que es cuando se hace más notorio el sedentarismo.

Actualmente se recomienda que el tiempo mínimo en el que se debe realizar ejercicio físico para garantizar una buena salud es de al menos 60 minutos al día con una intensidad moderada.

2.1.3. Sedentarismo en el entorno laboral

El sedentarismo en el trabajo afecta negativamente a la salud de las personas. El avance tecnológico ha causado que casi el 83% de los empleos se realicen sentados, cada vez es más habitual trabajar en una oficina o desde casa utilizando únicamente que un ordenador. Esto último supone pasar ocho horas diarias sentados, que puede parecer una tarea cómoda, pero trae consigo consecuencias para la salud de los trabajadores provocadas por el sedentarismo laboral que no deben pasar desapercibidas.

2.1.3.1. Consecuencias del sedentarismo laboral

Una jornada laboral sedentaria termina pasando factura aún realizando rutinas deportivas y de ejercicios al salir del trabajo.

Entre las dolencias más habituales destacan los dolores de espalda y cuello, contracturas o tensión muscular. Asimismo, se puede perder masa muscular por la ausencia de actividad física.

Existen problemas más graves procedentes del sedentarismo, entre ellos la diabetes o los tumores, las dolencias cardiovasculares, problemas de varices, sobrepeso, alteraciones cognitivas e incluso la muerte prematura.

Hay estudios que afirman que el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares o diabetes de tipo 2 se duplica en personas sedentarias, el de padecer algún tipo de cáncer se incrementa en un 13 % y un 17 % en muerte prematura.

2.1.3.2. Consejos para evitar problemas derivados del sedentarismo laboral

Para evitar estos problemas procedentes del sedentarismo laboral se pueden seguir algunas recomendaciones:

- Ir andando al lugar de trabajo si es posible, en caso de que no lo sea, se puede aparcar el vehículo más lejos o bajarse en la parada anterior a la correspondiente para obligar al individuo a andar.
- Usar escaleras en lugar de ascensor en el lugar de trabajo.
- Intentar levantarse del puesto de trabajo cada hora y caminar un poco.
- En los tiempos de descanso, aprovecharlos para caminar un rato.
- Realizar estiramientos al inicio y final de la jornada laboral.

Es muy recomendable que a pesar de seguir estas recomendaciones se debe realizar actividad física en nuestra vida fuera del ámbito laboral, no tiene que ser actividad física de alta intensidad, pero si debe realizarse frecuentemente (IMHOTEP Prevención SL, 2020).

2.2. Ergonomía

La ergonomía se conoce actualmente como la combinación de conocimientos utilizados para hacer que el trabajo, los sistemas, productos y el entorno se adecúen a las capacidades y dificultades físicas y mentales de la persona, mejorando así la eficiencia, seguida y bienestar.

En el campo del diseño, cabe destacar la antropometría, las posturas, el confort acústico, el alcance y vibraciones cuyo fin último es acceder a nuevas tecnologías e interacciones, expandir el conocimiento en áreas de la fisiología y la psicología para evitar la sobrecarga.

Se aplican tres principios para la implementación de una filosofía de trabajo en el Área de Diseño de Productos:

- La orientación hacia los usuarios y las labores que se deben realizar con el producto.
- Diseño de prototipos de manera práctica para la medición real de su utilización.
- Diseñar mediante remodelación, modificando parámetros y comprobando la usabilidad del producto desde el primer momento hasta que el resultado sea totalmente útil.

La Metodología de Enseñanza del Diseño de IBV establece lo importante que es el proceso de diseño de sistemas, en el que se deben identificar y corregir errores desde el primer momento, estudiar el entorno de uso y su accesibilidad del espacio en que se realiza el uso del sistema.

2.2.1. Objetivo

Los objetivos fundamentales de la ergonomía son los siguientes:

- Mejorar la interrelación de la tecnología con las personas.
- Escoger la metodología más apropiada al personal disponible.
- Aumentar la productividad, cualitativa como cuantitativamente.
- Diseñar el entorno de trabajo de manera que este resulte atractivo, sencillo y afín a las condiciones de seguridad y salud.

La finalidad del diseño ergonómico es conseguir una adaptación complaciente de las condiciones laborales junto a las características físicas y psíquicas del propio trabajador (IMF Smart Education, 2011)

2.2.2. Ergonomía en el puesto de trabajo

La ergonomía se centra en mejorar la calidad de la vida laboral. Cuando se aplican conocimientos sobre este campo se busca en todo momento que el trabajador no sufra lesiones por los movimientos, fuerzas o posturas que se adoptan a lo largo de una jornada laboral.

El objetivo principal es disminuir los riesgos de la salud en el espacio de trabajo para alcanzar que el empleado se sienta más motivado e incluso consiga ser más productivo en su puesto de trabajo.

Todos los dispositivos que se utilizan en el puesto de trabajo se diseñan teniendo en cuenta de quiénes lo van a utilizar, al igual que se debe tener en cuenta la propia organización de la empresa, la cuál debe ser diseñada de acuerdo con necesidades de los trabajadores que la componen y a las características que la forman (Luque, 2021).

Ahora se van a exponer algunos productos ergonómicos que se deben utilizar para prevenir dolores en un puesto de oficina o teletrabajo.

- Silla de escritorio ajustable para prevenir los dolores de una mala postura.
- Cojín lumbar para reducir la fatiga lumbar.
- Cojín ortopédico con gel para aliviar la presión y alinear la columna vertebral en una posición natural.
- Ratón ergonómico inalámbrico para evitar forzar los músculos y articulaciones del antebrazo y la muñeca.
- Alfombrilla de ratón con reposamuñecas para ayudar a reducir presión y prevenir lesiones del túnel carpiano.
- Reposamuñecas para teclado para reducir presión en las muñecas y trabajar con mayor comodidad.
- Reposabrazos ajustable para evitar dolor en los hombros.
- Soporte para portátil ajustable para prevenir dolores de cuello y espalda.
- Soporte para monitor ajustable.
- Gafas con filtro de luz azul para prevenir el cansancio visual, problemas de sueño y lesiones oculares.
- Por último, el reposapiés que se explicará con más detalle en el próximo apartado ya que es el tema principal de este proyecto.



2.2.2.1. Reposapiés

El reposapiés convencional tiene como objetivo prevenir dolor en los pies y piernas en un puesto de trabajo al final del día. Ayuda a mejorar la postura, relaja as piernas y la espalda y previene la fatiga.

Se debe comprobar siempre que los pies descansan cómodamente en el suelo y que los muslos se encuentran en posición horizontal. Si esto no es posible, se debe utilizar un reposapiés porque la presión excesiva en la parte posterior de los muslos dificulta el retorno sanguíneo (FREMAP, s.f.).

En este trabajo además de las funciones que cumple un reposapiés estático se le ha añadido un balanceo automatizado, ya que es beneficioso para mejorar la circulación mientras se está sentado durante muchas horas.

3. Metodología

3.1. Introducción

El proyecto tiene como objetivo desarrollar un reposapiés automatizado para mejorar la movilidad de pies y piernas en aquellas personas que por razones médicas o laborales pasan sentadas al día gran parte de su tiempo, además se le quiere añadir diferentes inclinaciones y velocidades para que se adapte mejor a las necesidades de la persona que lo use y fabricar un mando a distancia que facilite su manejo.

Para comenzar dicho proyecto es importante conocer que materiales se deben usar, las dimensiones mínimas que debe tener un reposapiés y tener claro el objetivo final que se busca, el balanceo automatizado del dispositivo que se va a fabricar. Se ha tenido en cuenta la importancia de tener movilidad por poca que sea cuando se está sentado, ya que esto afecta, con el tiempo, de manera muy agresiva al ser humano, tanto en problemas leves de circulación como enfermedades más graves causadas por el sedentarismo.

Para llevar a cabo este proyecto es fundamental tener conocimientos sobre programación y electrónica para el montaje de los dispositivos, la realización de las pruebas hasta lograr que ambos microcontroladores integrados, reposapiés y mando a distancia, se comuniquen vía Wi-fi, y que envíe los datos coherentemente para que el reposapiés se mueva acorde a los parámetros que se le han impuesto. Una vez realizado esto, se diseñan los prototipos de ambas partes, se fabrican a escala real y se prueban para comprobar si todo el trabajo realizado ha merecido la pena.

A continuación, se explicará con más detalle todo el procedimiento que se ha llevado a cabo para elaborar el desarrollo y montaje de los elementos.

3.2. Reposapiés automatizado

De acuerdo con el Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización, Boletín Oficial del Estado, Madrid, 23 de abril de 1997, núm. 97, además de que el asiento de trabajo deberá ser estable, que le proporcione libertad de movimiento al usuario y procure tener una postura confortable, se pondrá a disposición del trabajador un reposapiés a aquellas personas que lo deseen. Por esa razón se ha querido rediseñar dicho reposapiés para mejorar el confort del trabajador (BOE-A-1997-8671).

3.2.1. Características

Las características que debe cumplir el reposapiés automatizado son las mismas que debe tener un reposapiés estático, estas dimensiones vienen regidas de acuerdo con la NTP 1129 sobre los criterios ergonómicos para la selección de sillas de oficina (Trabajo, 2018).

El reposapiés es un elemento adicional que se utiliza cuando la altura de la mesa y el asiento no son regulables, impidiendo que el usuario no pueda descansar sus pies en el suelo. “El Real Decreto 488/1997 establece la obligatoriedad de facilitar este elemento a aquellos trabajadores que lo soliciten. Además, sería aconsejable facilitar este elemento a todos los trabajadores que lo requiriesen por sus características antropométricas.” (Trabajo, 2018).

La Guía Técnica del INSST para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos con pantallas de visualización, recomienda que las características estructurales del mismo sean las siguientes:

- Inclinación ajustable entre 0° y 15° sobre el plano horizontal.



Figura 5 – Regulable en inclinación (Ergológico, 2018)

- Dimensiones mínimas de 45 cm. de ancho por 35 cm. de profundidad.

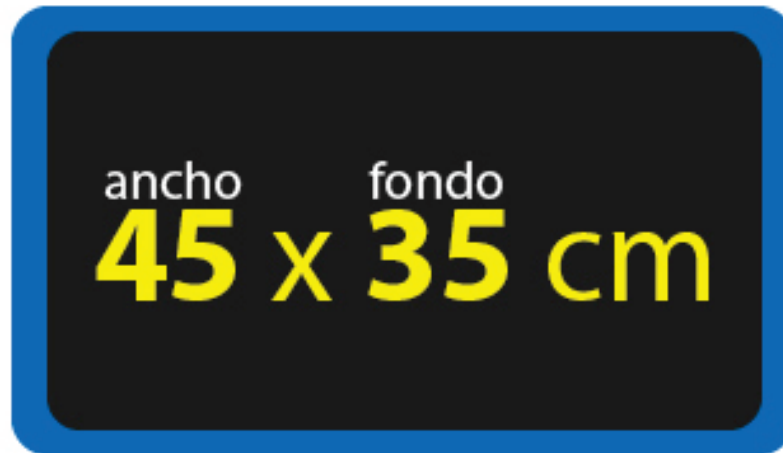


Figura 6 – Dimensiones mínimas (Ergológico, 2018)

- Tener superficies antideslizantes, tanto en la zona superior para los pies como en sus apoyos para el suelo.

En este proyecto se han tenido en cuenta todas las características anteriormente mencionadas, el reposapiés va a tener tres posiciones diferentes de movimiento:

- Entre 0° y 5°.
- Entre 0° y 10°.
- Entre 0° y 15°.

Además, va a tener tres velocidades diferentes de movimiento para que el usuario pueda utilizar el más confortable y que a su vez le permita poder concentrarse en su trabajo sin que este movimiento le suponga una falta de atención a sus responsabilidades.

Se ha establecido un mecanismo de emergencia en el reposapiés, como este estará en movimiento es necesario tener un componente que evite cualquier peligro que se presente, para ello en la base se van a añadir cuatro células de carga que irán conectadas al microcontrolador dirigidas por el código de programación. El objetivo principal de este elemento es parar el dispositivo entero cuando note un peso extraño, aunque sea leve, cuando el reposapiés esté en funcionamiento, para evitar atrapamientos.

Para conseguir que el reposapiés, concretamente, que la parte superior de este se moviera, se han utilizado dos servomotores de 20 kg x cm, cabe destacar que se han utilizado estos servomotores para realizar el prototipo, siguiendo el principio

de construir el dispositivo con el mayor número de materiales reciclados estos eran los que había disponible, no obstante se ha comprobado que el torque de 20 kg*cm no es suficiente para elevar el peso correspondiente a los pies de un adulto por tanto para el producto real se deberían utilizar dos servomotores de 150 kg*cm cada uno, para más detalle consultar el Anexo A.

La razón por la que se ha utilizado un servomotor y no un motor paso a paso es la siguiente, un servomotor es aquel que es controlable de manera precisa, en otras palabras, un servomotor es un motor paso a paso, pero con una electrónica de control integrada, pudiendo controlar la posición y el movimiento. Un motor paso a paso es un motor de corriente continua que no tiene escobillas en el que la rotación está dividida en un cierto número de pasos resultantes de la estructura del motor (TME, 2020).

Las ventajas que presenta un servomotor son las siguientes (Compañía Levantina de Reductores, s.f.):

- Ahorro de tiempo en la elaboración de proyectos, pudiendo realizar modificaciones sin costes adicionales.
- Precisión máxima.
- Torsión elevada.
- Tamaño y coste de mantenimiento reducidos.
- Carga ligera.
- Curva de velocidad lineal, aspecto que reduce el esfuerzo computacional.

En accionamientos precisos, en el que se utilizan movimientos rápidos y controlados es recomendable utilizar un servomotor ya que ofrecen un par motor constante al aumentar la velocidad, y se apoyan en un sistema PLC que determina los grados exactos del movimiento y su repetitividad (Compañía Levantina de Reductores, s.f.).

Las conexiones electrónicas se detallarán en el apartado 3.2.3 y la fabricación del prototipo en el capítulo 8.

3.2.2. Diseño estructural

En este apartado se va a explicar el proceso de diseño que se ha realizado durante el proyecto hasta llegar al esquema final del prototipo.

Se van a exponer tres bocetos, siendo el último el correspondiente al diseño final:

- Primer boceto:

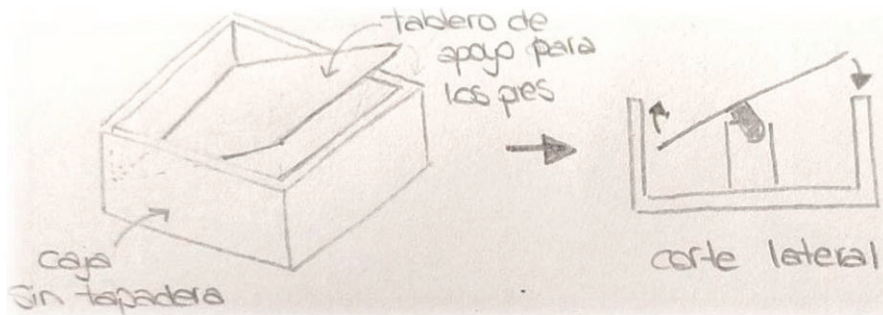


Figura 7 – Primer boceto del diseño (elaboración propia)

La primera idea fue hacer una caja sin tapadera dónde se guardarían todas las conexiones electrónicas, en la parte superior iría un tablero dónde el usuario apoyaría los pies, este iría sujeto a los servomotores mediante sujeciones fijas, y los servomotores a su vez irían sujetos a la base de la caja. El problema que surgió en este diseño fue, que al ser una caja abierta en la que el tablero superior tenía movimiento, había un peligro muy elevado de atrapamiento por lo que se descartó inmediatamente.

- Segundo boceto:

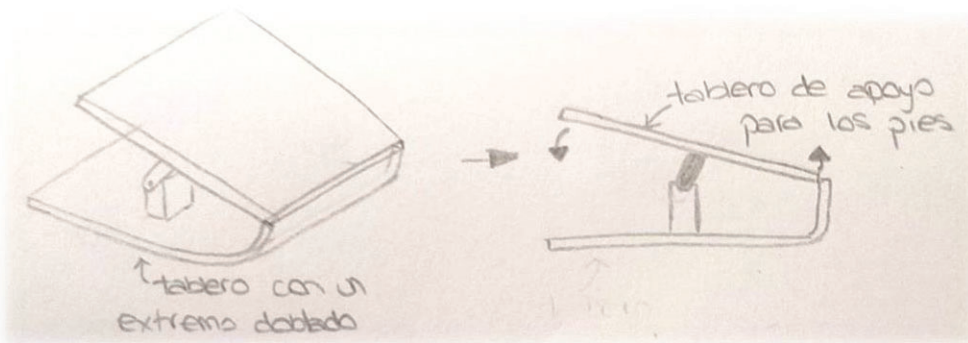


Figura 8 – Segundo boceto del diseño (elaboración propia)

La segunda idea fue hacer un tablero y doblar uno de sus extremos, donde el tablero dónde el usuario apoya los pies, además de ir sujeto a los servomotores, en su estado de reposo quedaría apoyado en dicho extremo, se buscaba tener una zona de apoyo más amplia que los propios servomotores. Se descartó porque también presentaba un gran peligro de atrapamiento.

- Tercer boceto:

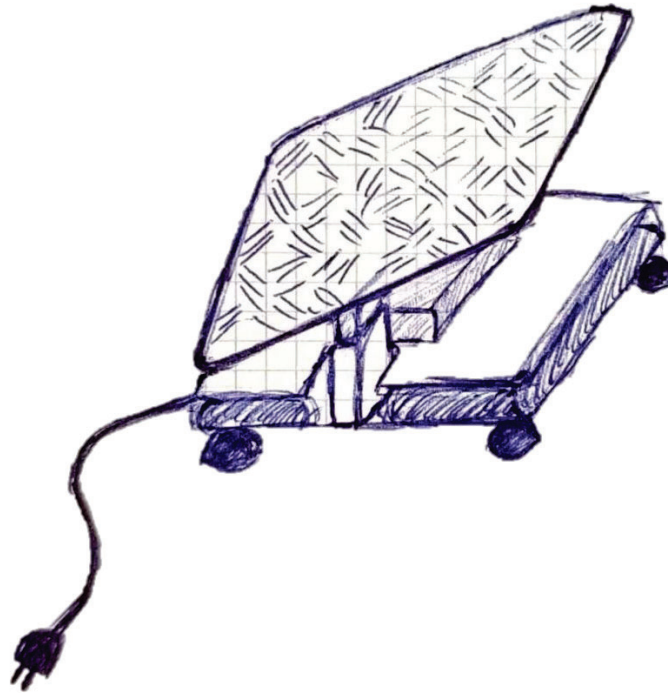


Figura 9 – Boceto del diseño final (elaboración propia)

El tercer boceto se corresponde al diseño final del prototipo, el tablero va sujeto únicamente a los servomotores, y estos a una base de madera, encima del tablero de madera hay otro tablero, entre estos dos van a ir las células de carga que componen el sistema de emergencia. En este diseño el atrapamiento es más complicado que suceda, pero igualmente se le ha añadido un sistema de emergencia para descartar cualquier peligro. Las conexiones electrónicas estarán recogidas en una carcasa, cuyo diseño se explicará en el capítulo 7, que va encima del tablero intermedio. Al principio se planteó la idea de poner dos tableros de apoyo en los pies en vez de uno, pero finalmente se optó por poner un tablero compacto ya que da más estabilidad al sistema y se consigue el objetivo del proyecto, el balaceo de la superficie de apoyo para mejorar la circulación en pies y piernas.

3.2.3. Montaje electrónico

En este subcapítulo se van a exponer las conexiones electrónicas necesarias para que el objetivo final del reposapiés, el balanceo del mismo, sea viable. Todos los dispositivos del reposapiés van conectados a un mismo microcontrolador, pero se van a explicar por separado para facilitar su comprensión.

Una vez que están todos los dispositivos conectados al microcontrolador, estos se controlan a través de un código de programación en Arduino, cuyo código de programación se explicará con más detalle en el capítulo 6.

3.2.3.1. Células de carga

Las células de carga se van a usar para añadir un sistema de emergencia al dispositivo, evitando así cualquier tipo de daño causado por el movimiento del reposapiés, las características técnicas se explican en el capítulo 4.

Se han escogido las mismas que se utilizan para fabricar las básculas, se componen de cuatro células de carga, una para cada esquina del tablero, a través del código de programación se configura para que cuando note un peso extraño se paralice el reposapiés completo impidiendo la posibilidad de un accidente.

En la figura 10 se muestran las conexiones que deben tener entre ellas como las conexiones que tienen con el Módulo Wi-Fi ESP32.

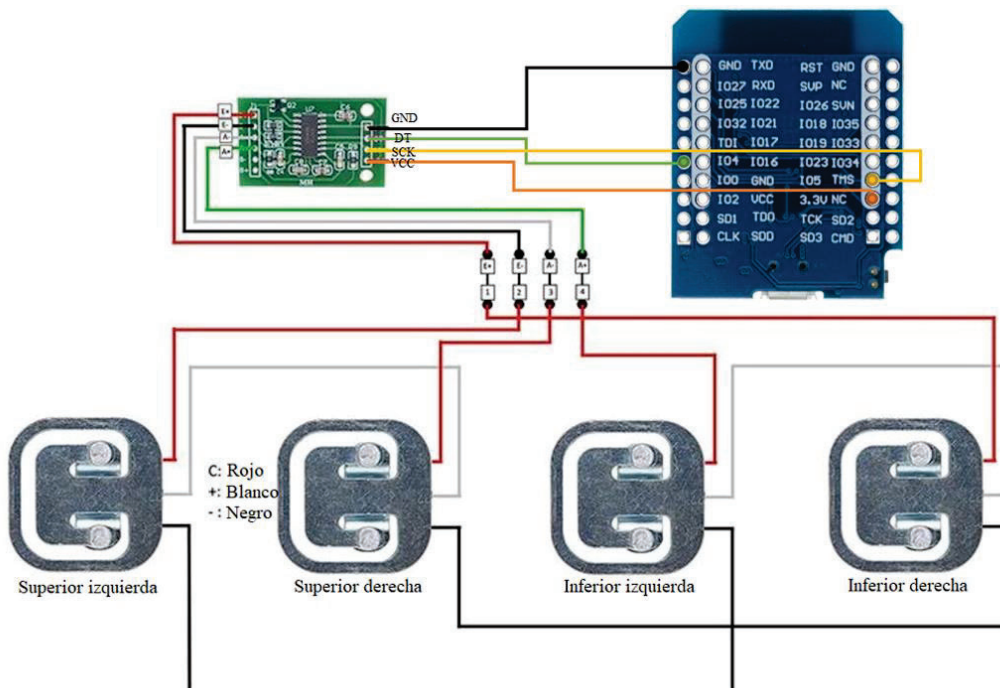


Figura 10 – Conexiones electrónicas Células de carga – ESP32 (elaboración propia)

3.2.3.2. Fuente de alimentación e interruptor

La fuente de alimentación se va a usar para que el dispositivo disponga de corriente eléctrica para poder funcionar. Se va a utilizar una fuente de alimentación de 5V 10^a cuyas características técnicas están especificadas en el capítulo 4.

Además, se le va a añadir al dispositivo un interruptor para poder encenderlo y apagarlo sin necesidad de desenchufar el reposapiés de la corriente eléctrica, cuyas conexiones electrónicas se muestran en la figura 11.

En la figura 11 se muestran las conexiones que debe tener para la red eléctrica, cuyo cable se compone de tres: marrón, correspondiente a la fase, azul, perteneciente al neutro, y por último, el amarillo y verde que se corresponde a tierra, así como las conexiones que tiene con el Módulo Wi-Fi ESP32 y por último las conexiones que debe tener con los servomotores, en el siguiente apartado se mostrarán el resto de las conexiones que necesita el servomotor para funcionar.

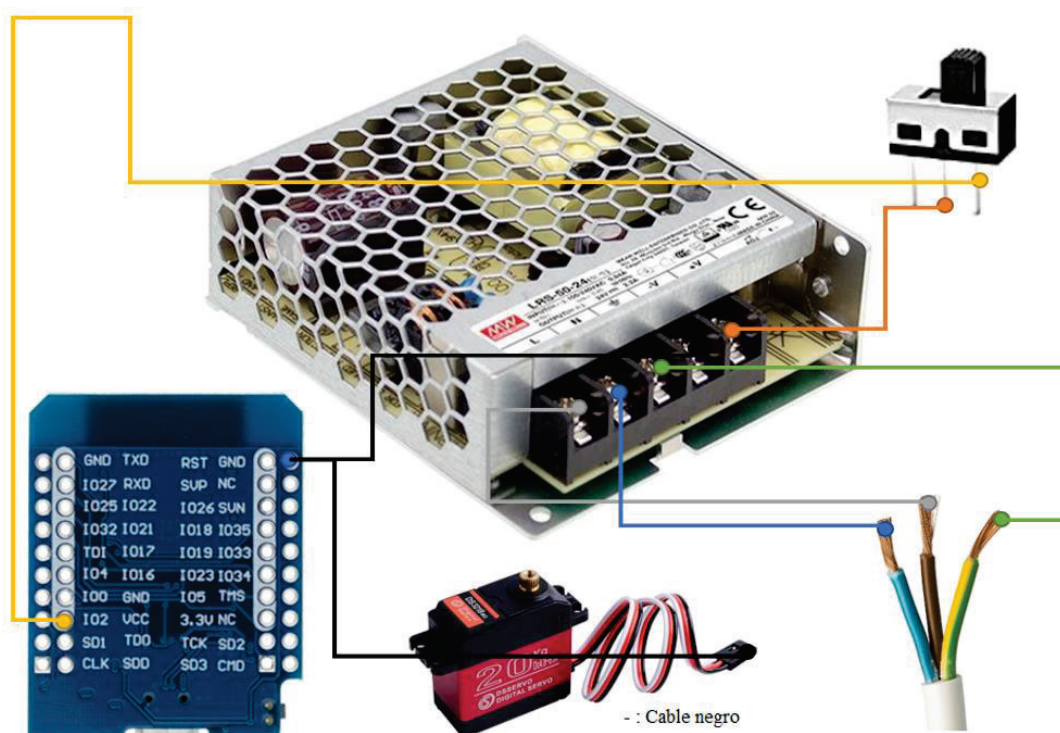


Figura 11 – Conexiones electrónicas Fuente de Alimentación – ESP32 – Servomotor – Interruptor (elaboración propia)

3.2.3.3. Servomotor

Para conseguir el movimiento de balanceo como se dijo anteriormente se han utilizado dos servomotores, se van a mostrar en la figura 12 las conexiones electrónicas de un solo servomotor ya que son idénticas.

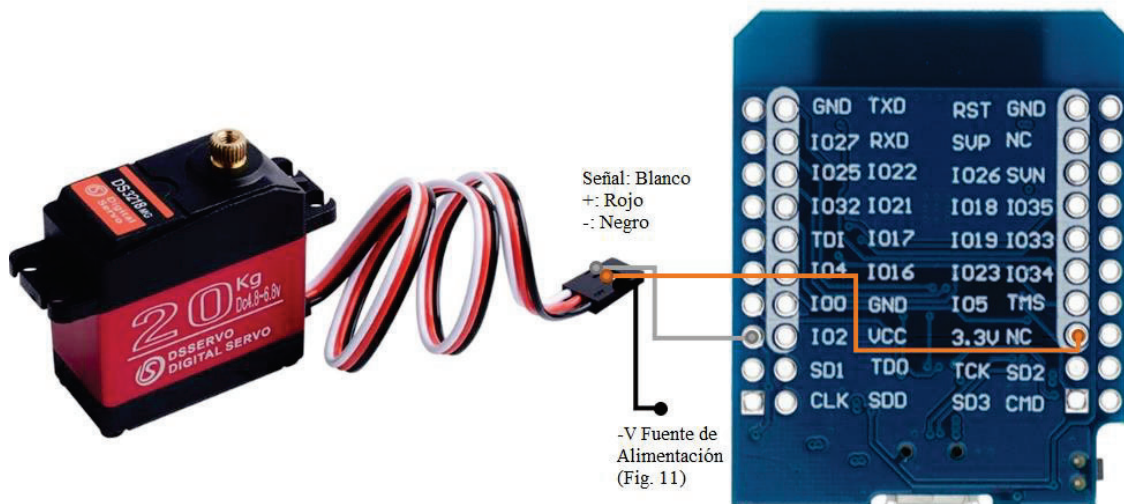


Figura 12 – Conexiones electrónicas Servomotor – ESP32 (elaboración propia)

3.3. Mando a distancia

Se ha fabricado un mando a distancia para facilitar al usuario el manejo del reposapiés, concretamente permite la modificación de la inclinación y velocidad de este.

3.3.1. Características

El mando a distancia consta de dos botones y un interruptor. Los botones se encargan de cambiar la velocidad e inclinación del dispositivo como se ha dicho anteriormente. Se le ha añadido una señal lumínica led para indicar al usuario en que posición y a qué velocidad se encuentra el reposapiés, el mando cuenta con 6 leds, tres corresponden a la inclinación del dispositivo y los otros tres a las velocidades de este.

Una de las ventajas de este dispositivo es que su batería es recargable a través de un cargador tipo U.

Su diseño estructural se ha modelado en 3D acorde a los dispositivos que alberga en su interior, este diseño se explica con más detalle en el capítulo 7.

3.3.2. Montaje electrónico

En este subcapítulo se van a exponer las conexiones electrónicas necesarias para el funcionamiento del mando a distancia. Todos los elementos van conectados a un mismo microcontrolador, pero se van a explicar por separado para facilitar su comprensión.

Una vez que están todos los dispositivos conectados al microcontrolador, estos se controlan a través de un código de programación en Arduino, cuyo código de programación se explicará con más detalle en el capítulo 6.

3.3.2.1. Cargador e interruptor

Las conexiones de ambos elementos se muestran en la figura 13.

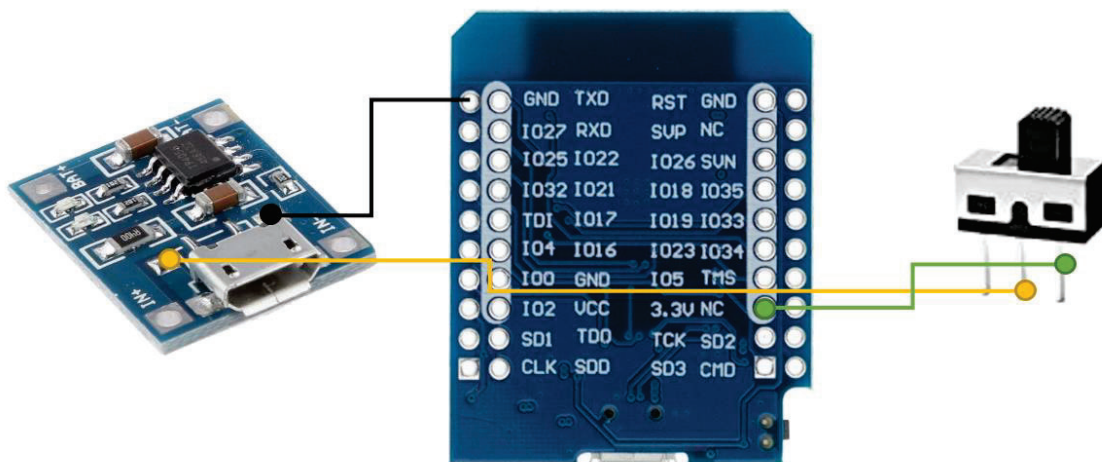


Figura 13 – Conexiones electrónicas Cargador – Interruptor – ESP32 (elaboración propia)

3.3.2.2. Pulsadores

Las conexiones electrónicas para los botones se muestran en la figura 14, además del pulsador debe tener una conexión a una resistencia de 10k ohmios, la explicación de por qué debe tener cada pulsador una resistencia se especifica en el capítulo 4.

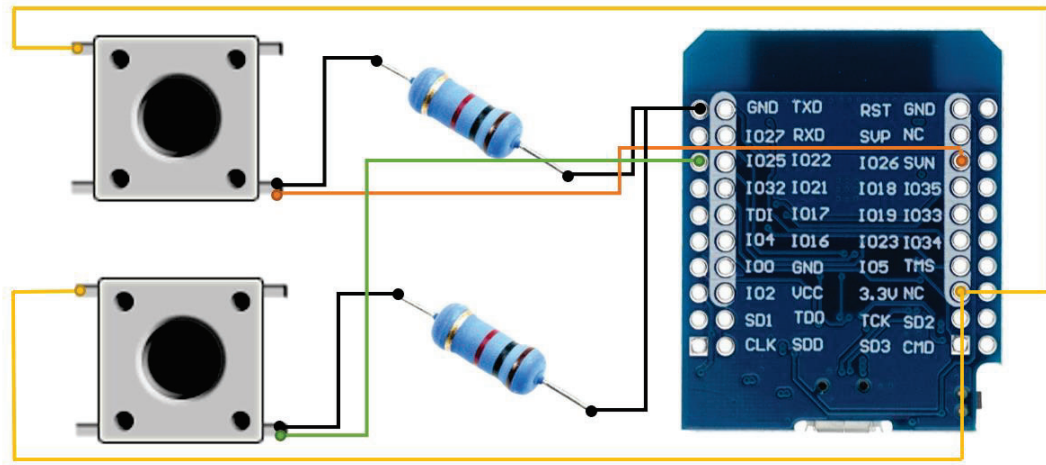


Figura 14 – Conexiones electrónicas Pulsador – Resistencia – ESP32 (elaboración propia)

3.3.2.3. Leds

En la figura 15 se exponen las conexiones necesarias para que los leds funcionen.

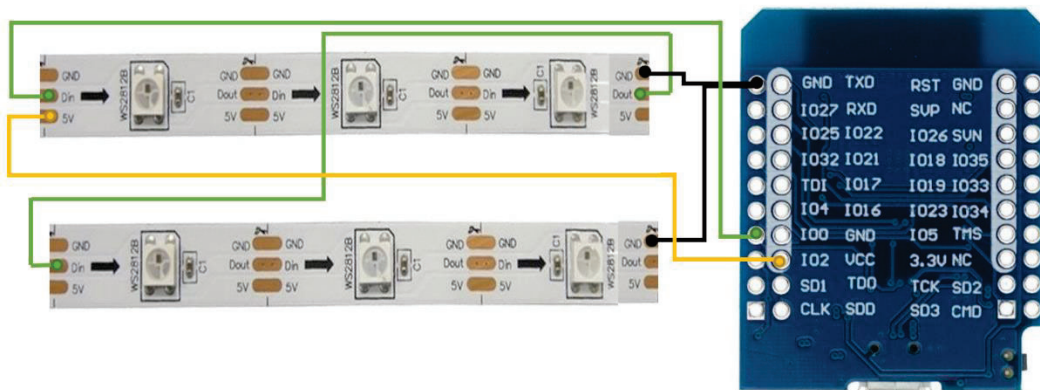


Figura 15 – Conexiones electrónicas Leds – ESP32 (elaboración propia)

3.3.2.4. Montaje completo del mando a distancia

En la siguiente figura se muestran las conexiones electrónicas reales del mando a distancia.

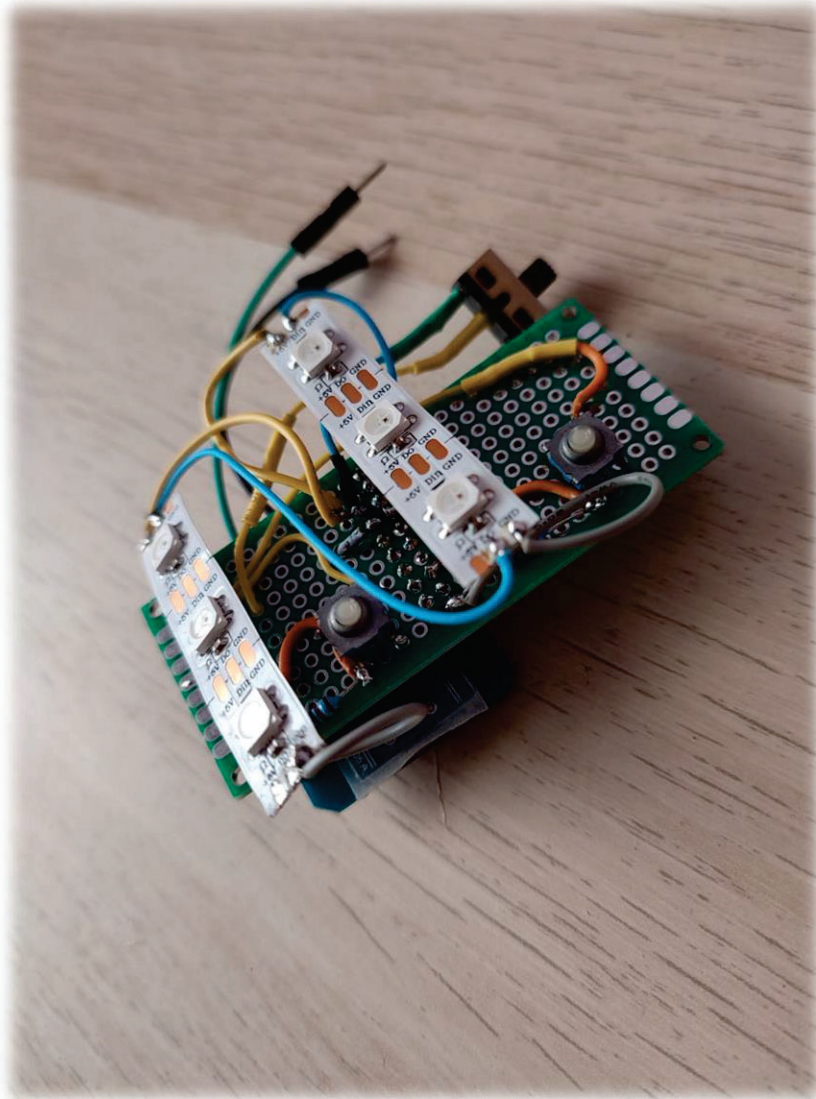


Figura 16 – Conexiones reales del mando a distancia (elaboración propia)

4. Materiales escogidos

4.1. Introducción

En este capítulo se van a exponer los diferentes elementos que se han utilizado para la realización del proyecto y se va a dividir en dos partes, la primera parte presenta los materiales que se han aplicado para construir el reposapiés automatizado tanto estructural como electrónicamente, por otro lado, la segunda parte muestra los aquellos materiales que se han utilizado para elaborar el mando a distancia.

4.2. Reposapiés

En esta primera parte se va a presentar el microcontrolador, la fuente de alimentación, las células de carga, el interruptor, los servomotores y los materiales utilizados para montar posteriormente la estructura de este.

4.2.1. Módulo Wi-Fi ESP32

Para que los servomotores funcionen deben ir conectados a un microcontrolador, el cuál es controlado por un código de programación que se explica con más detalle en el capítulo 6, se ha utilizado este modelo, Módulo Wi-Fi ESP32 D1 mini, ya que es bastante económico, esta tarjeta incorpora un módulo muy potente ESP-WROOM-32 que integra Wi-Fi y Bluetooth BLE, su integración permite un uso de aplicaciones muy amplio, el uso de Wi-Fi permite una comunicación de alcance medio, mientras que el Bluetooth permite conectarse directamente a otro dispositivo como un teléfono móvil (electronilab, s.f.).

Características (electronilab, s.f.):

- Alimentación: 5V
- Compatible con Arduino IDE, Lua y Micro Python.
- Conector: micro USB
- Wi-Fi y Bluetooth BLE
- FCC CERTIFIED WI-FI module
- USB-TTL CP2104
- PCB antena

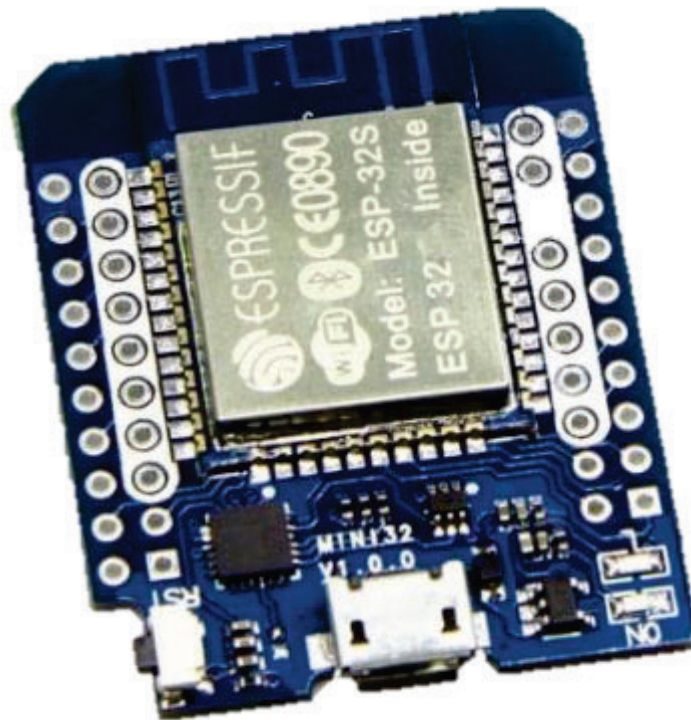


Figura 17 – Módulo Wi-Fi ESP32 D1 mini (electronilab, s.f.)

4.2.2. Fuente de alimentación

Una fuente de alimentación, conocida como fuente conmutada 5V 10^a, es un dispositivo electrónico que se define como la herramienta que transforma la corriente alterna en corriente continua en una o varias salidas.

Esta permite transformar la energía eléctrica de VCA A VCD, pudiendo alimentar a distintos dispositivos electrónicos, por ejemplo: sensores, circuitos integrados, tarjetas o módulos Arduino, etc. (Unit Electronics, s.f.).

Características y especificaciones (Unit Electronics, s.f.):

- Tipo: Fuente conmutada de 5 VCD a 10^a
- Potencia Máxima de salida: 50W
- Voltaje de entrada: AC110-220V 50/60Hz
- Protección: cortocircuito / sobrecarga / sobretensión
- Dimensiones: 16cm X 9.9cm X 4.2cm (L * W * H)
- Peso: 0.35Kg
- Temperatura de trabajo: -10 ~ + 50 y el grado; c

- Temperatura de almacenamiento: $-20 \sim 85$ y el grado; c
- Material de Shell: metal / base de aluminio
- Humedad ambiente: 20% ~ 95 % sin condensación
- Conexión en regleta para toma de VCD:
- -V: terminal negativa
- +V: terminal positiva
- ADJ: ajuste del voltaje de salida al ± 0.05 volts
- Conexión en regleta para ingresar VCA:
- T: terminal a Tierra física del toma corriente
- N: terminal Neutra del toma corriente
- L: terminal Línea o fase del toma corriente



Figura 18 – Fuentes de alimentación conmutadas 50W 5V 10^a (Mouser Electronics, s.f.)

4.2.3. Células de carga

Una célula de carga convierte la fuerza aplicada sobre ella en una señal eléctrica medible. Aunque existen muchos tipos de sensores, las células de carga son los más comunes en el mercado.

Hay variedad en cuanto a los diseños de células de carga y se pueden distinguir según el tipo de señal de salida generada (neumático, hidráulico, eléctrico) o de la manera que tienen para detectar el peso (flexión, cizalladura, compresión, tensión, etc).

En el proyecto se han utilizado cuatro para utilizarlo en caso de emergencia, es decir, una vez esté el reposapiés en funcionamiento, si nota algún peso en la zona de peligro de atrapamiento todo el dispositivo se parará hasta reanudarlo.

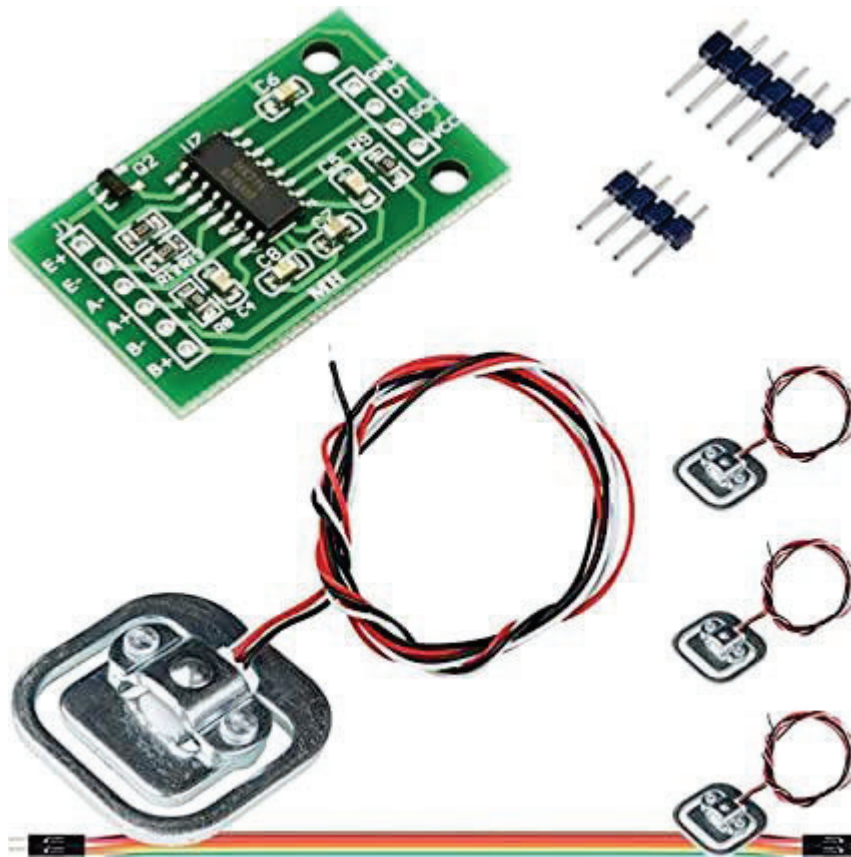


Figura 19 – Célula de carga (Amazon)

4.2.4. Interruptor deslizante vertical

Un interruptor es un componente eléctrico que se encarga de realizar la función de encendido y apagado, comúnmente conocido como on/off, de un dispositivo

eléctrico. El funcionamiento del interruptor consiste en dejar pasar o no la corriente en un circuito eléctrico.

Características (Amazon, s.f.):

- Tipo: 1P2T
- Voltaje nominal: CA 125 V
- Corriente nominal: 2^a
- Tamaño del interruptor: 12,7 x 6,6 x 13,2 mm/0,5 x 0,26 x 0,52 pulgadas (largo x ancho x alto).
- Tamaño del pin de soldadura: 6,8 x 1,3 x 0,8 mm/0,27 x 0,05 x 0,03 pulgadas (largo x ancho).
- Longitud de la perilla deslizante: 5 mm/0,2"

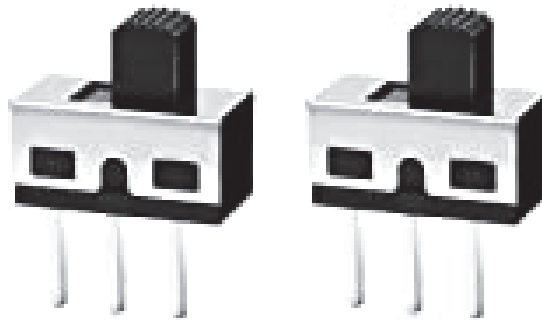


Figura 20 – Interruptor deslizante vertical (Amazon)

4.2.5. Servomotor

Como se ha explicado en el capítulo 3, se han escogidos dos servomotores que serán los encargados de conseguir el balanceo en el reposapiés.

Un servomotor es un actuador motor o rotativo que proporciona un control exacto de la posición angular, la aceleración y la velocidad, a diferencia de un motor normal que no tiene estas características. En resumen, se combina un sensor para la retroalimentación de control con un motor convencional.

La combinación de piezas consiste en un motor de corriente continua o alterna, y son apropiados para su uso en un sistema de control cerrado.

Un servomecanismo de bucle cerrado que emplea la retroalimentación de posición para controlar su velocidad de rotación y posición, sería una definición más correcta (Aula21, 2020).

Características (Amazon, s.f.):

- Par de torsión (5V): 19 kg / cm (263.8oz / in)
- Par de torsión (6.8V): 21.5 kg / cm (298.5 oz / in)
- Dead band: 3 μ s
- Velocidad: 0.16 seg / 60 ° (5V) / 0.14 seg / 60 ° (6.8V)
- Voltaje de operación: 4.8 ~ 6.8 DC Voltios
- Peso: 60 g (2.12 oz)
- Tipo de motor: motor de corriente continua
- Tipo de engranaje: Cobre y Aluminio
- Frecuencia de trabajo: 1520 μ s / 333hz.
- Certificación CE: Sí
- Tamaño de: 40 x 20 x 40.5 mm (1.58 x 0.79 x 1.60 in)



Figura 21 – Servomotor impermeable DS3218 (Amazon)

4.2.6. Materiales para la estructura

Para construir la estructura del reposapiés se han utilizado materiales reciclados de la universidad.

En primer lugar, para la base se ha utilizado un tablero de madera, para que sea estéticamente más confortable con el mobiliario.



Figura 22 – Base de madera reciclada (elaboración propia)

En segundo lugar, se ha utilizado un chapón, para guardar las células de carga para poder tener un sistema de emergencia en caso de atrapamiento.



Figura 23 – Chapón reciclado (elaboración propia)

Por último, la chapa lagrimada es la zona donde la persona apoya los pies, se ha escogido este tipo de chapa por su ligereza y estabilidad, con la característica de que sea lagrimada para que sea antideslizante, que es una de las características que debe cumplir un reposapiés.



Figura 24 – Chapa lagrimada reciclada (elaboración propia)

4.3. Mando a distancia

En la segunda parte se van a exponer los materiales necesarios para fabricar el mando a distancia electrónicamente, el microcontrolador, el interruptor, los leds, los botones, las resistencias, el cargador y la batería. En capítulos posteriores se explicará cómo se ha realizado su estructura con más detalle.

4.3.1. Módulo Wi-Fi ESP32

Se va a utilizar el mismo que se ha descrito anteriormente para el reposapiés, apartado 4.2.1.

4.3.2. Interruptor

Se va a utilizar el mismo que se ha descrito anteriormente para el reposapiés, apartado 4.2.4.

4.3.3. Pulsador

Para los botones del mando, que en este van a ser 2, se han escogidos pulsadores reciclados de la universidad.

Un pulsador es un dispositivo que tiene cuatro pines que están conectadas a pares. Cuando se pulsa el interruptor se cierra el circuito y se deja pasar la corriente.

Estos botones junto a su código de programación se encargan de que los servomotores reciban la información requerida, en este caso, la inclinación y velocidad de movimiento, junto con una señal led para que su uso sea más intuitivo para el usuario.



Figura 25 – Pulsador reciclado (elaboración propia)

4.3.4. Resistencia

Se han utilizado dos resistencias de 10k ohmios ya que al incorporar pulsadores en el mando suele presentar un comportamiento inestable por no estar conectado a ninguna tensión, para solucionarlo, y que el pulsador quede en un estado determinado, con ayuda de su código de programación, se hace uso de las resistencias.



Figura 26 – Resistencia de 10k Ω (elaboración propia)

4.3.5. Leds

Se han utilizado seis leds en total, dos tiras compuestas por tres leds concretamente. Se han usado, como se ha explicado en el apartado 4.3.3, para que muestre una señal lumínica cuando se escoja algunas de las opciones disponibles en el mando, y el usuario sepa en cada momento la inclinación y velocidad que tiene el reposapiés y pueda controlarlo con mayor facilidad.

4.3.6. Cargador

Dispositivo que se va a encargar de alimentar y cargar la batería de litio, el voltaje de salida es de 5V, se conecta a un TIPO U, este debe ser compatible con el dispositivo de recepción, el voltaje de entrada debe ser mayor que el voltaje de salida.

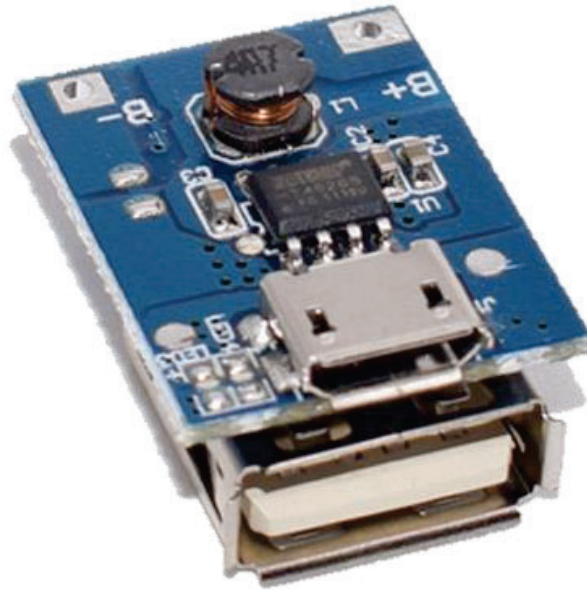


Figura 27 – Cargador TIPO U para batería de litio (Alibaba.com, s.f.)

4.3.7. Batería

La Batería LiPo 3.7V 650mAh o batería de litio-polímero, es una pila recargable constituida por varias celdas lo que permite almacenar una gran cantidad de energía. El voltaje es de 3.7V a 4.2V y una corriente de 650mAh (UNIT Electronics, 2016-2022). Se va a utilizar para que el mando a distancia sea recargable.

Características (UNIT Electronics, 2016-2022):

- Marca: UNIT Electronics
- Capacidad: 650mAh
- Modelo: 802040 B1
- Potencia: 2.41 Wh
- Número de celdas: 1
- Dimensiones: 40mmx20mmx8.0mm
- Voltaje
 - Nominal: 3.7V DC
 - Detección de Sobrecarga: 4.28 ± 0.025 V
 - Detección de Sobre descarga: 3 ± 0.05 V
- Límite de máxima carga de corriente:
 - Pico: 1.3 A
 - Constante: 0.65^a

- Impedancia Interna: 220 m Ω
- Conector: JST PHR-2 Pitch 2mm
- Ciclos de vida: ≥ 800
- Longitud de cable: 63mm
- Temperatura
 - Carga: 0°C / +45°C
 - Humedad: 65 \pm 20%
 - Descarga: -20°C / +60°C
 - Almacenamiento: 25°C \pm 3°C

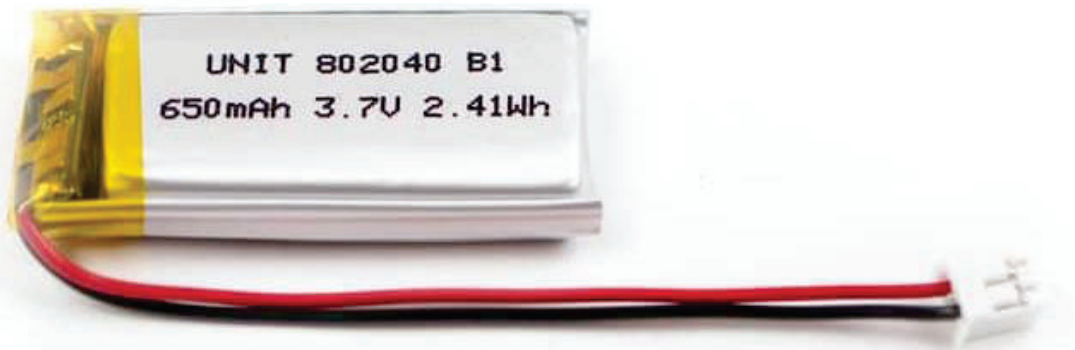


Figura 28 – Bateria LiPo 650 mAh (UNIT Electronics, 2016-2022)

5. Softwares utilizados

5.1. Introducción

En el capítulo 5 se van a describir los softwares que se han utilizado para la elaboración de este proyecto,

Primero se explicará el software que se ha utilizado para controlar los diferentes dispositivos, Arduino. Luego se describirá el software que se ha usado para realizar el diseño 3D de los dispositivos, SolidWorks. Finalmente se mostrará el software que se ha empleado para imprimir a escala real los dispositivos modelados en SolidWorks, tras esta breve explicación se busca que se pueda comprender de manera más detallada los pasos que se han realizado durante el desarrollo del TFG.

5.2. Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto, basada en software y hardware libre, este último incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra. Estos permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla, es flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Gracias a él se pueden crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa y con distintos usos según requiera el usuario (Ltda, s.f.).

Primero se deben comprender bien los conceptos de hardware y software libres. El hardware libre es un dispositivo cuyas especificaciones y esquemas están disponibles públicamente, por lo que cualquiera puede reproducirlos. Esto significa que Arduino proporciona las bases para que cualquier persona o entidad pueda crear sus propias placas, pudiendo ser diferentes entre ellas, pero funcionales al partir del mismo origen.

El software libre son los programas informáticos cuyo código es accesible a todo el mundo para que cualquiera que lo desee pueda usarlo y modificarlo. Arduino ofrece la plataforma Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), que es un medio de programación con la que cualquier usuario o empresa puede crear aplicaciones para las placas Arduino, con el fin de poder proporcionarles todo tipo de utilidades.

5.2.1. Funcionamiento

Arduino es una placa basada en un microcontrolador ATMEL. Un microcontrolador es un circuito integrado en el que se pueden grabar distintas instrucciones, estas se escriben con el lenguaje de programación que utiliza el entorno Arduino IDE. A partir de estas instrucciones se crean programas que interactúan con los circuitos de la placa.

El microcontrolador de Arduino tiene una interfaz de entrada, es una conexión donde podemos conectar diferentes periféricos a la placa. La información de estos periféricos pasará al microcontrolador, que es el encargado de procesar los datos que le lleguen.

Hay muchos tipos de periféricos que se pueden utilizar para enviar datos al microcontrolador, los cuales dependen del uso que le quiera dar cada usuario. Pueden ser cámaras para obtener imágenes, diferentes tipos de sensores, o teclados para introducir datos.

También dispone de una interfaz de salida, es la que se encarga de traspasar a otros periféricos la información que se ha procesado en el Arduino. Estos periféricos pueden ser pantallas o altavoces para reproducir los datos procesados, o incluso pueden ser también otras placas o controladores.

5.2.2. Ventajas

Arduino presenta muchas ventajas en comparación a otros dispositivos y son las siguientes:

- Plataforma abierta: es de código abierto, por lo que se pueden elaborar una gran cantidad de proyectos y posibilidades de desarrollo. Tiene menos límites gracias a que se puede combinar con otras plataformas.
- Económico: es muy fácil encontrar algún kit de Arduino con los componentes necesarios para iniciarte en este mundo.
- Fácil manejo: puede usarla cualquier persona, aunque tenga pocos conocimientos de programación y/o electrónica.
- Alta flexibilidad: se puede trabajar en casi todas las plataformas informáticas.
- El hardware y software es ampliable y de código abierto, tienes grandes posibilidades de crear proyectos de todo tipo.
- Gran variedad, hay muchos tipos de placas con ciertas similitudes y diferencias entre ellas según el proyecto que se quiera realizar con ella.

5.3. SolidWorks

SolidWorks es un programa de Diseño Asistido por Ordenador que se emplea para modelado mecánico. Es una aplicación muy intuitiva con la que se pueden crear infinidad de productos ya que permite trabajar de una forma rápida y productiva.

El programa permite modelar piezas y sus conjuntos y extraer de ellos planos y toda la información que pueda ser útil para la producción, como la lista de los materiales, o la lista de piezas. Este trabaja con base en las innovadoras técnicas de modelado con sistemas CAD (Computer Aided Design). El proceso consiste en ser capaz de plasmar la idea mental del diseñador en el sistema, construyendo la pieza virtualmente. Una vez realizado esto, los planos y distintos ficheros se pueden extraer del programa de una forma bastante automatizada (SolidBi, s.f.).

Dentro de la amplia cantidad de funciones que tiene SolidWorks destaca su capacidad para:

- Producir diseños de una manera rápida y limpia. Además, tiene capacidad de añadir módulos avanzados de diseño en diferentes ramas de la industria de la fabricación.
- Generar diseños de forma sencilla con extrusiones, revoluciones, operaciones de vaciado o patrones y taladros.
- Transición e integración de datos de dos dimensiones a datos tridimensionales.
- Permite realizar cambios en tiempo real de los diseños con una función sencilla de arrastras y colocar durante la dinámica edición de operaciones y croquis.
- Aumenta la velocidad de modelado de piezas con un gran control a nivel de operaciones sobre las distintas piezas.
- Creación de piezas complejas donde se emplean herramientas de sólidos y superficies.
- Hacer referencia a las distintas piezas de forma directa y 55ic mantener sus relaciones al crear nuevas piezas.

Además, tiene una interfaz de trabajo excelente, con múltiples alternativas mediante el empleo de cada herramienta de trabajo.

5.4. Ultimaker Cura

Ultimaker Cura es el software de impresión 3D más conocido en el mundo, tiene un potente motor de código abierto.

El software es muy fácil de usar (UltiMaker, s.f.):

- Prepare su modelo 3D para imprimir en minutos con la configuración recomendada
- Sólo hay que elegir la configuración de velocidad y calidad.
- Es un software gratuito y de código abierto.

Ultimaker Cura se define por facilitar una interfaz gráfica para preparar modelos para impresión 3D, esta se ajusta según el modelo y el programa determina el escenario de la impresora 3D durante la aplicación secuencial de la máquina.

En el caso más simple, es suficiente importar el modelo en uno de los formatos compatibles (STL, OBJ, X3D, 3MF, BMP, GIF, JPG, PNG), seleccionar la configuración de velocidad y calidad y enviar el trabajo de impresión (DesdeLinux, 2020). En este proyecto se han importado los modelos en STL desde SolidWorks.

Las principales características de este software son las siguientes (DesdeLinux, 2020) :

- Software de código abierto multiplataforma, disponible de forma totalmente gratuita.
- Cuenta con perfiles configurados, que hacen que la configuración de hardware y material sea simple y rápida, y logra resultados confiables y profesionales.
- Tiene dos tipos uso; el modo recomendado o el modo personalizado para configurar más de 300 configuraciones, para un control máximo.
- Soporte inmediato para formatos de archivo STL, OBJ, X3D y 3MF.
- Capacidad de poder para administrar una o más impresoras Ultimaker con capacidad de red desde una sola interfaz.
- Capacidad de poder ampliar su funcionalidad principal con complementos.

6. Programación del prototipo

6.1. Introducción

En este capítulo se va a explicar el proceso que se ha llevado a cabo para conseguir que el reposapiés tenga tres inclinaciones de movimiento con tres velocidades diferentes, y como se pueden controlar dichos movimientos y velocidad a partir de un mando a distancia.

6.2. Código de programación

Una vez realizadas las conexiones electrónicas, el siguiente paso es verificar a través del código de programación que ambos dispositivos funcionan como se buscaba.

Los códigos de programación se van a dividir en dos, un código es el que le corresponde al reposapiés, se le va a llamar código receptor, este código es el que recibe la información del código emisor, correspondiente al mando a distancia.

A continuación, se va a explicar el proceso que se ha realizado paso a paso hasta llegar al código final de cada uno, emisor y receptor, cuyo código de programación unificado se mostrará en el Anexo B.

6.2.1. Receptor

El código de programación que recibe el nombre de receptor es el correspondiente a los elementos que componen el reposapiés, es el código receptor porque recibe la información desde el mando, que es el correspondiente al código emisor.

Cada código se relaciona con un microcontrolador diferente, y estos se comunican entre sí vía Wi-Fi, el proceso se explicará más adelante.

El código receptor controla los dispositivos del reposapiés, estos elementos son los siguientes: las células de carga y los servomotores.

Antes de llegar al código final se han ido probando los dispositivos por separado con un código de programación individual, una vez que se ha llegado al resultado buscado se ha unificado en uno sólo.

6.2.1.1. Servomotor

Antes de empezar a utilizar Arduino, se realizan las conexiones de un servomotor al microcontrolador, luego conectamos el microcontrolador a un ordenador. Una vez realizado esto, abrimos el software de Arduino y estos son los pasos que se han seguido para la configuración de dicho código:

- Se deben descargar las librerías que se van a utilizar.
- Hacer un esquema del funcionamiento que se busca.
- Realizar diferentes pruebas con el código y ver cómo responde el servomotor hasta llegar al objetivo que se quiere.

6.2.1.2. Células de carga

Cuando ya están realizadas todas las conexiones al microcontrolador, se empiezan a realizar las pruebas con las células de carga.

Lo único que debemos hacer es calibrarlas para que hagan una lectura correcta del peso que reciben. Hecho esto, se introduce en el código final cuya función será parar el dispositivo cuando reciba más del peso establecido.

6.2.2. Emisor

Como se ha dicho anteriormente, el código de programación emisor se corresponde al mando a distancia, este es el encargado de mandar la información que el usuario quiera al receptor, el reposapiés.

Este código controla los pulsadores, uno corresponde al cambio de velocidad y el otro al cambio de inclinación del dispositivo, y la señal lumínica led ajustada a cada posición.

La programación de esta parte también se ha hecho individualmente, cuando era estable se ha unificado en un código y se ha relacionado con el código receptor para que reciba la señales.

6.2.3. Comunicación vía Wi-Fi entre microcontroladores

Una de las ventajas de los microcontroladores que se han usado es que se pueden comunicar entre ellos vía Wi-Fi, el modo de configuración es muy sencillo.

Conectamos el microcontrolador correspondiente al emisor al ordenador y compilamos un código de programación para configurarlo, ver Anexo B, a este



código se le ha llamado mac_00, cuando se ha compilado nos da unos dígitos en números hexadecimales, se copian en un papel y se hace lo mismo con el otro microcontrolador. Estos dígitos son la identificación de cada uno, se podría decir que es como el DNI proporcionado a cada persona. Cuando ya se tiene ese código se introduce en el otro y viceversa.

Una vez realizada la conexión Wi-Fi se introduce una pequeña estructura idéntica en ambos códigos de programación, este va a ser el puente de datos entre ambos códigos.

7. Modelado y prototipado

7.1. Introducción

Para el diseño de los prototipos, lo primero que se ha hecho es desarrollar cada uno de los elementos que lo van a componer y posteriormente modelar sus estructuras en SolidWorks para imprimirlos en 3D.

En el caso del reposapiés se ha modelado en 3D, pero su fabricación ha sido a mano cuyo proceso se explica en el capítulo 8 menos la carcasa que alberga el cableado que se ha impreso en 3D.

7.2. Modelado del reposapiés

En la siguiente figura se puede ver el modelo en 3D del reposapiés automatizado:

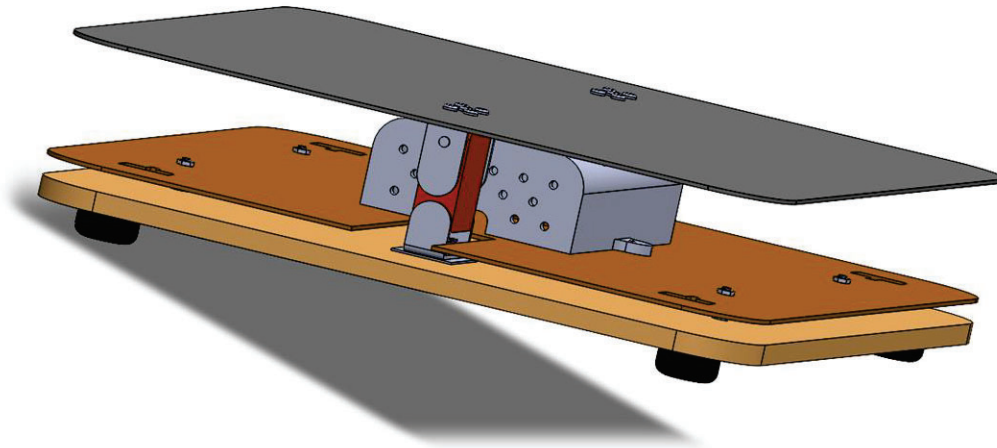


Figura 29 – Diseño 3D del reposapiés (elaboración propia)

Se ha diseñado acorte al prototipo que se va a fabricar a escala real, consta de varias partes:

- El tablero gris, correspondiente a la chapa lagrimada.
- La carcasa donde se va a introducir el cableado de las células de carga, los servomotores, la fuente de alimentación y el microcontrolador, se verá más detallado en el subcapítulo 7.2.1.
- Los tableros marrones, el de abajo correspondiente a la base y el de arriba el soporte que va sobre las células de carga, tiene esos huecos en las esquinas para que las células de carga estén en una posición óptima.

- Dos pletinas metálicas rectangulares que están entre el servomotor y la base para dar un mejor agarre al servomotor respecto a la base.
- Por último, las patas, tornillos, tuercas, arandelas, remaches y los dos servos que han sido comprados para facilitar el montaje del reposapiés.

7.2.1. Carcasa para los cables

La carcasa para los cables se ha diseñado con el objetivo de que las conexiones y algunos elementos del reposapiés no quedaran a la vista del usuario, por estética y seguridad.

Las dimensiones son acordes al tamaño del propio reposapiés, ver figura 30.

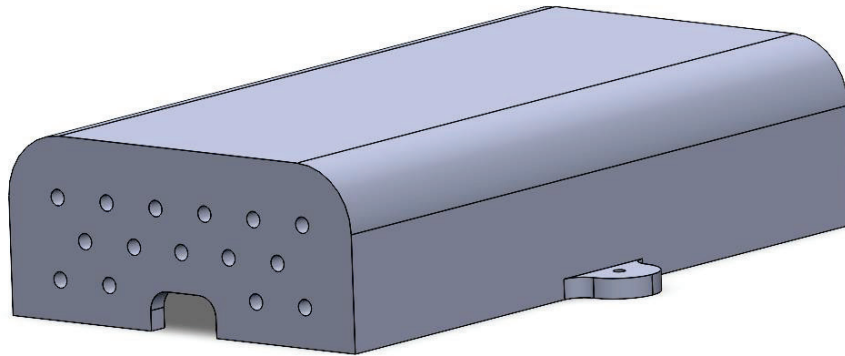


Figura 30 – Diseño 3D de la carcasa para el cableado (elaboración propia)

En la figura 30 se puede observar que en el lateral tiene pequeños agujeros, se ha diseñado así para que los elementos electrónicos que guarda en su interior tengan un respiradero y expulsen el calor generado para evitar cualquier tipo de complicación futura.

La pequeña muesca que tiene en medio es para atornillar dicha carcasa a su base en caso de que se necesite para que no se pueda abrir fácilmente.

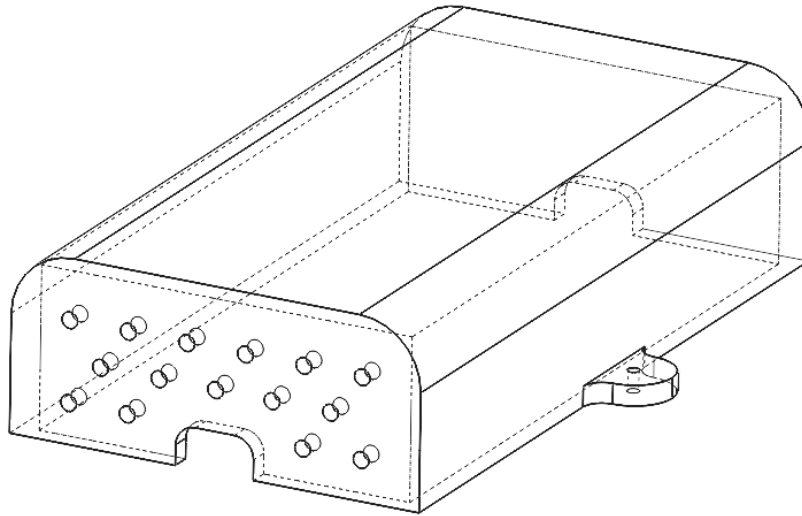


Figura 31 – Diseño translucido de la carcasa para cables (elaboración propia)

En la figura 31 se puede observar que los agujeros laterales solo se han hecho en una zona, se ha diseñado solo en ese lateral ya que es donde se va a ubicar la fuente de alimentación y es el elemento que puede producir más calor.

En cada lateral hay una pequeña apertura, es para poder conectar los cables de cada servomotor en el microcontrolador.

7.3. Modelado del mando a distancia

El mando a distancia se ha diseñado con el tamaño óptimo para que puedan entrar todos sus componentes, se ha modelado a medida. Dentro de esta carcasa se encuentran los siguientes elementos: un microcontrolador, el cargador, la batería lipo, los pulsadores, la resistencia y las tiras leds.

Se puede observar en la figura 32 que la parte de arriba tiene 8 agujeros, los que están independientes corresponden a cada pulsador del mando, y por otro lado, los agujeros que están en línea de 3 a la señal led que se le ha añadido al mando.

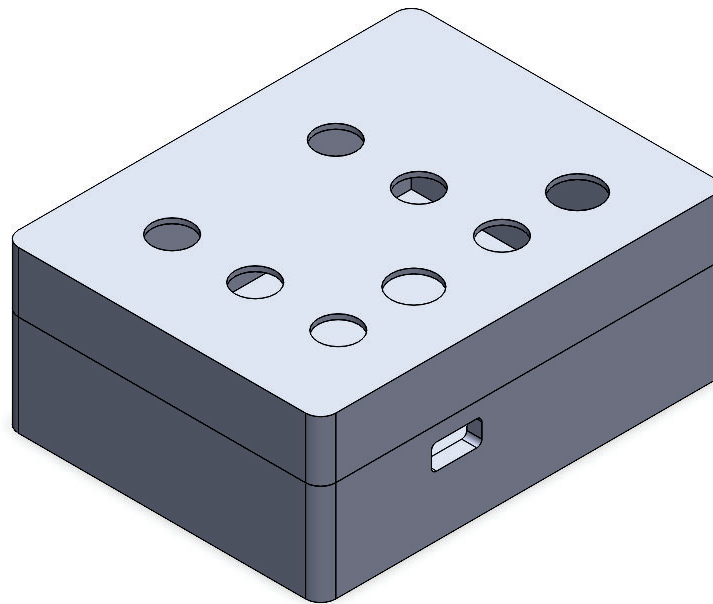


Figura 32 – Diseño 3D del mando a distancia (elaboración propia)

En la figura 33, se pueden observar dos ranuras. La ranura lateral, es el hueco para poder cargar la batería del mando, mientras que la ranura que se encuentra en la parte de arriba es el hueco que le corresponde al interruptor de este.

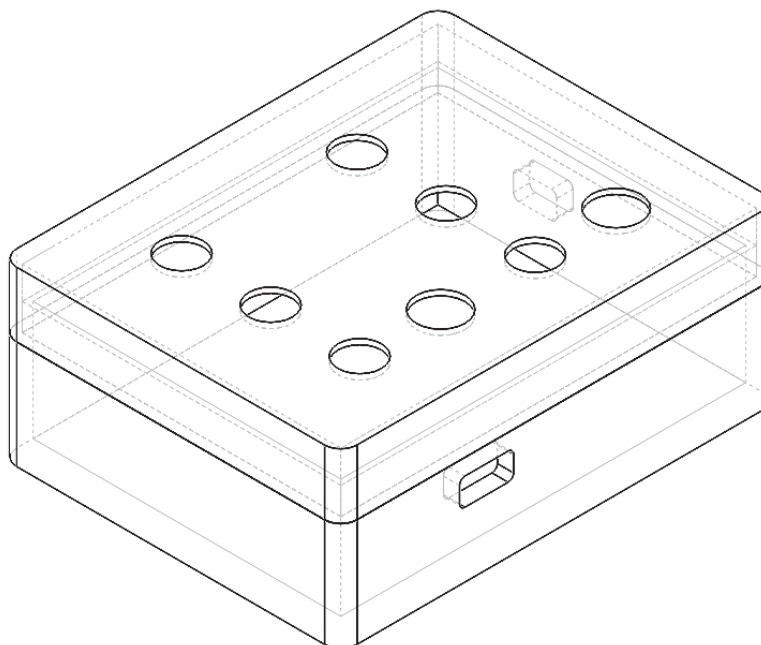


Figura 33 – Diseño translucido del mando a distancia (elaboración propia)

En la figura 34 se muestra un explosionado del mando a distancia para entender mejor su diseño y funcionamiento.

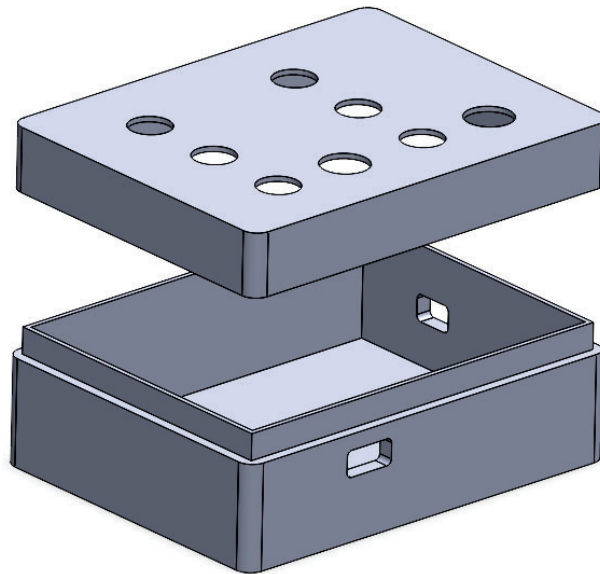


Figura 34 – Explosionado del mando a distancia (elaboración propia)

7.4. Prototipado

En este subcapítulo se van a exponer los prototipos a escala real del mando a distancia y de la carcasa para los cables.

7.4.1. Prototipado de la carcasa para los cables del reposapiés

El prototipo se imprimió en PLA, ácido poliláctico, porque se buscaba una estructura rígida y estable, ver figura 35.



Figura 35 – Prototipo en PLA de la carcasa para los cables (elaboración propia)

En la siguiente figura se puede ver el interior de la carcasa para los cables, ver figura 36.



Figura 36 – Vista interior de la carcasa para los cables (elaboración propia)

7.4.2. Prototipado del mando a distancia

El mando a distancia también se ha impreso en PLA para que sea resistente, ver figura 37, figura 38 y figura 39.

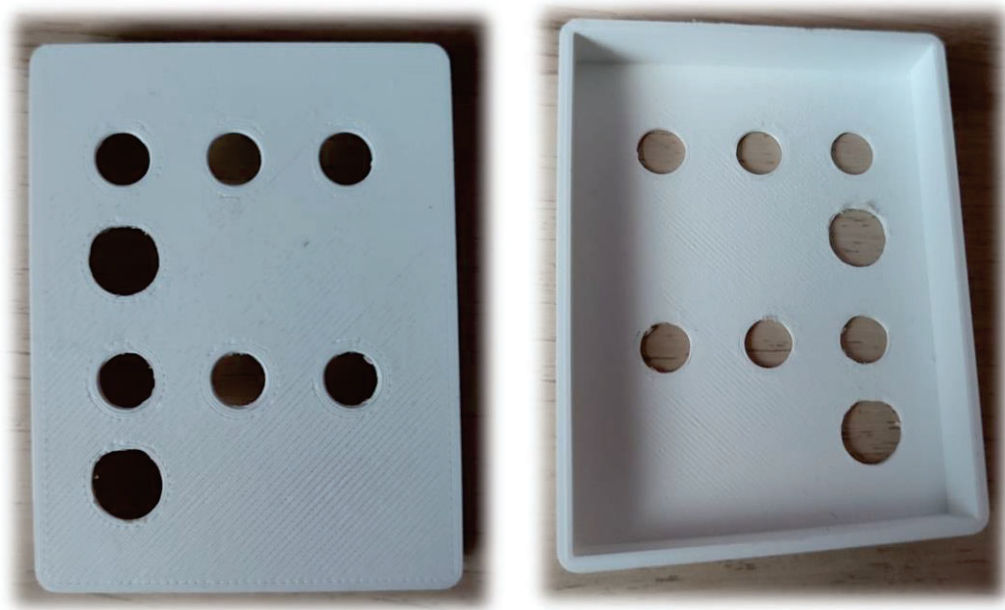


Figura 37 – Prototipo en PLA de la parte delantera del mando a distancia (elaboración propia)

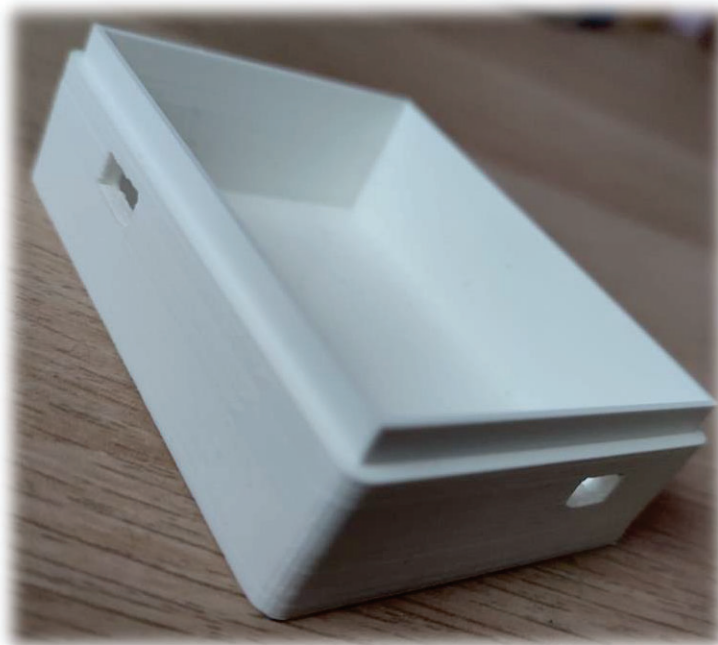


Figura 38 – Prototipo en PLA de la parte trasera del mando a distancia (elaboración propia)

Por último, en la figura 39, se puede ver el prototipo completo del mando a distancia.

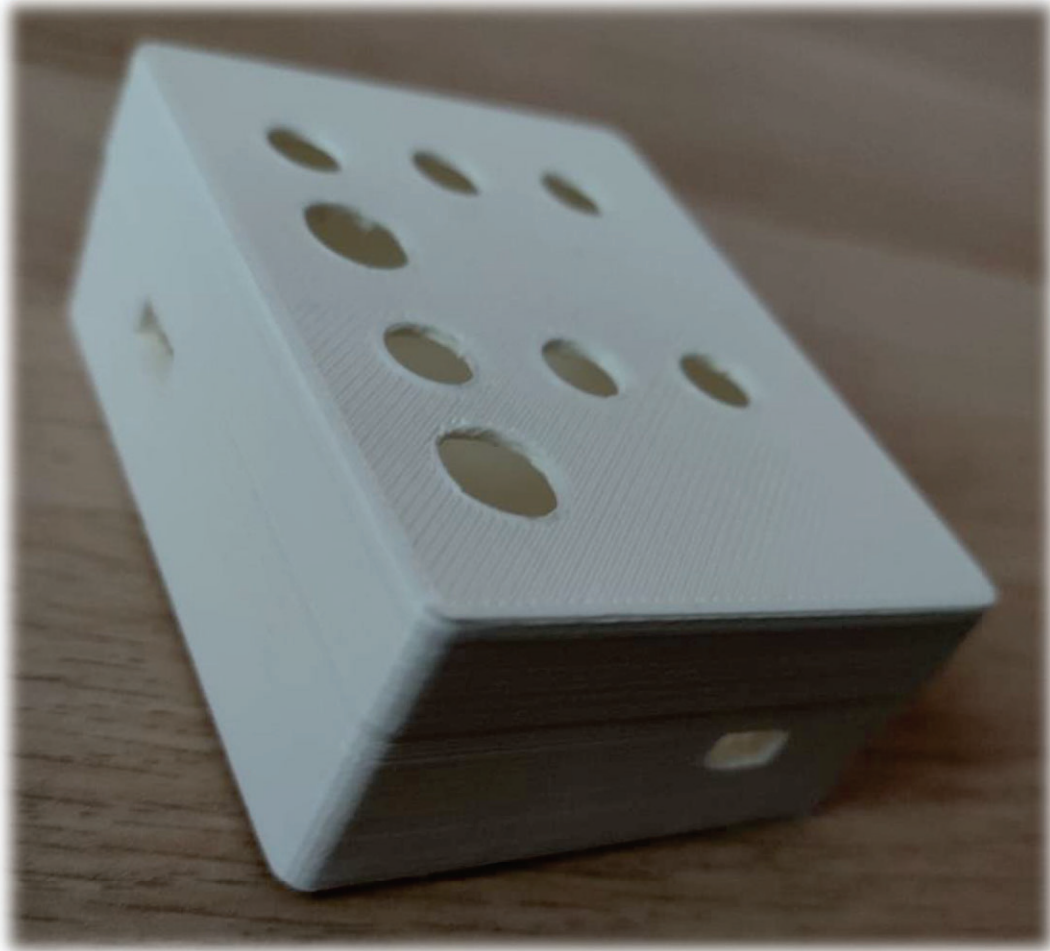


Figura 39 – Prototipo en PLA del mando a distancia (elaboración propia)

8. Fabricación del dispositivo

8.1. Introducción

En este capítulo se va a explicar paso a paso el proceso de fabricación que se ha realizado en el taller de prototipado de la Universidad de Málaga.

8.2. Pasos que seguir para la fabricación del reposapiés

A continuación, se van a exponer imágenes del desarrollo de la fabricación para que se comprenda mejor.

1. Cortar los materiales reciclados

Antes de comenzar a cortar los materiales, se hizo una selección de estos, para la zona de apoyo de los pies se escogió una chapa lagrimada porque debe cumplir la característica de ser antideslizante, ver figura 40.

Para la base se eligió un tablero de madera grueso para dar estabilidad a la base y un chapón fino, para guardar las células de cargar, ver figura 42.

Por último, se recicló una carcasa metálica de ordenador para tener dos pletinas que ayudarán en el agarre del soporte del servomotor, ver figura 43.

Todos estos materiales se han cortado con una sierra de calar, figura 41, respetando las mismas medidas para los tres tableros, 460x360 mm.



Figura 40 – Chapa lagrimada cortada (elaboración propia)



Figura 41 – Cortando con la sierra de calar (elaboración propia)



Figura 42 – Tableros de madera y chapón cortados (elaboración propia)



Figura 43 – Pletina metálica (elaboración propia)

2. Taladrar

A continuación, se taladran los tableros, pletinas metálicas y soportes del servomotor con ayuda de un taladro vertical y un taladro.

El chapón, ver figura 44, tiene 12 huecos, los 2 huecos centrales son para pasar cables y no queden visibles. Los 4 huecos de las esquinas tienen esa forma por las células de carga, para que cuando se presione en el tablón haga una lectura correcta del peso que reciben. Los huecos laterales se han cortado con la sierra de calar, ahí van los servomotores que se atornillarán a la base de madera junto a la pletina metálica. Por último, los 4 agujeros pequeños son para unir mediante tornillos el chapón con el tablero de madera,

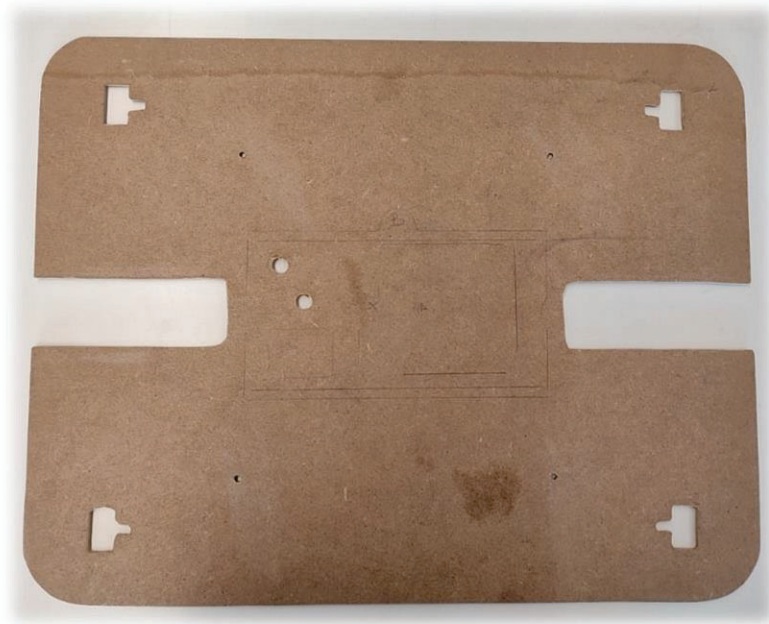


Figura 44 – Tablero chapón taladrado (elaboración propia)

En la figura 45, se ven los taladros que se han tenido que hacer en el tablero de madera, los que están dentro de un rectángulo son para atornillar el servomotor y la pletina metálica. Los 4 agujeros restantes son para unir el chapón con el tablero de madera.

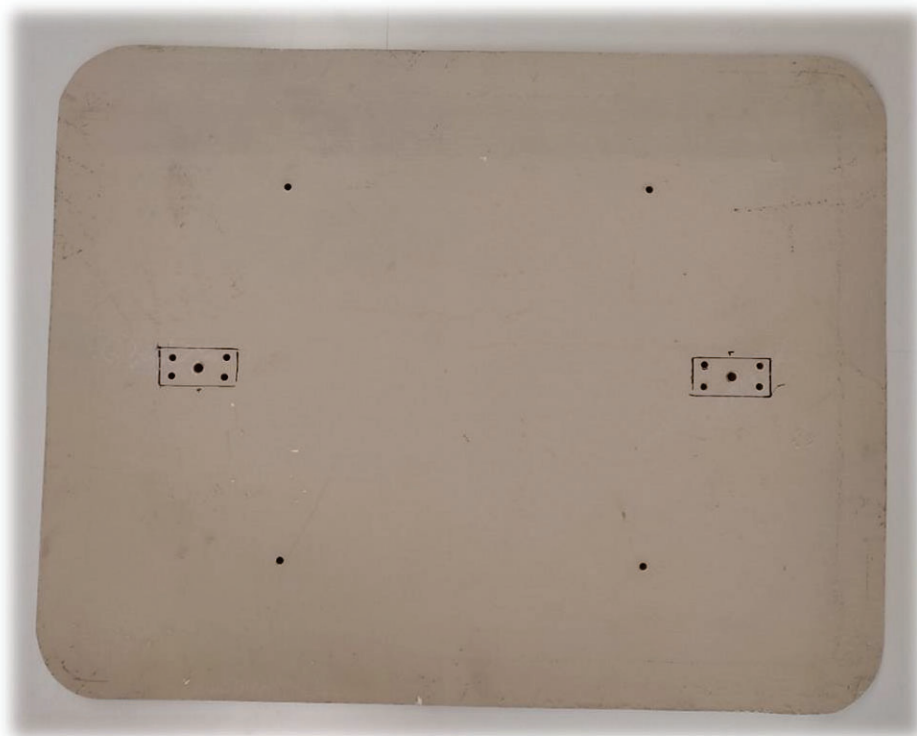


Figura 45 – Tablero de madera taladrado (elaboración propia)

En la siguiente imagen se puede ver los agujeros que lleva la chapa lagrimada para atornillar los soportes de los servomotores con el objetivo de que esta se mueva.



Figura 46 – Chapa lagrimada taladrada (elaboración propia)

En la figura 47, se observa cómo se ha utilizado el taladro vertical, para taladrar los soportes de los servomotores y las pletinas metálicas, ver figura 48.

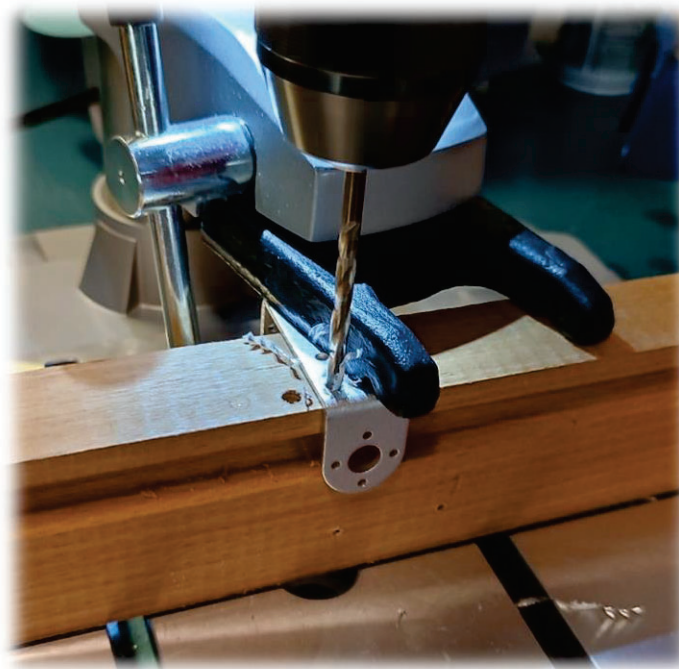


Figura 47 – Taladro vertical (elaboración propia)

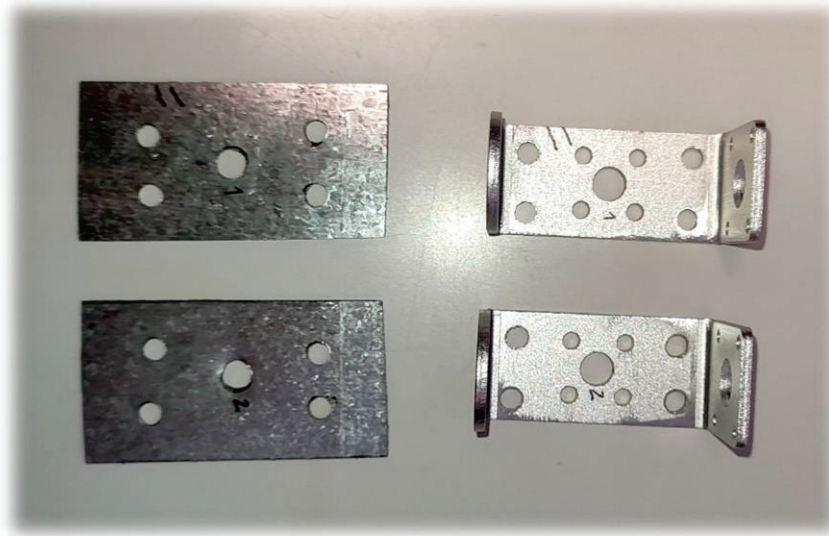


Figura 48 – Pletina y soporte servomotor taladrado (elaboración propia)

3. Lijar

Cuando ya están todos los materiales cortados y taladrados, se lijan para que ningún material pueda dañar a alguien, tanto en su fabricación como en su posterior uso, ver figura 49, figura 50 y figura 51.



Figura 49 – Lijando chapa lagrimada (elaboración propia)

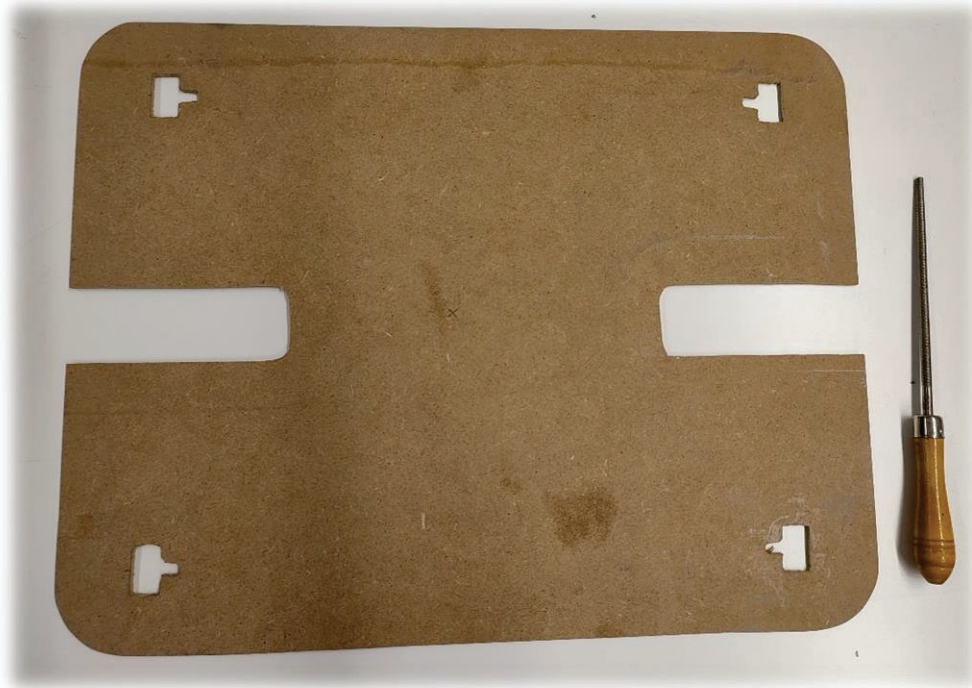


Figura 50 – Lijando taladros (elaboración propia)



Figura 51 – Lijando elementos metálicos (elaboración propia)

4. Tuercas remachables

Se le han remachado tuercas remachables de métrica 4 a los soportes superiores de los servomotores, ver figura 52, con el fin de que la chapa lagrimada superior pueda ser extraíble. El objetivo de que la chapa superior se pueda quitar en cualquier momento en caso de avería, finalmente los servomotores quedarían como se ve en la figura 53.

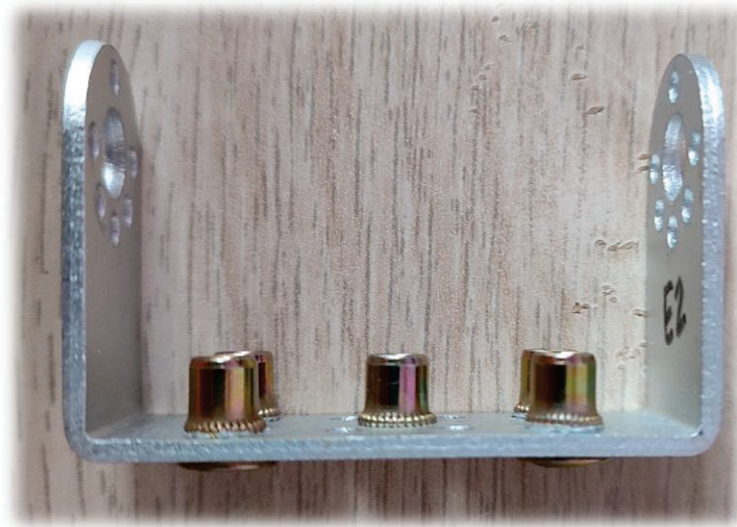


Figura 52 – Tuercas remachadas (elaboración propia)

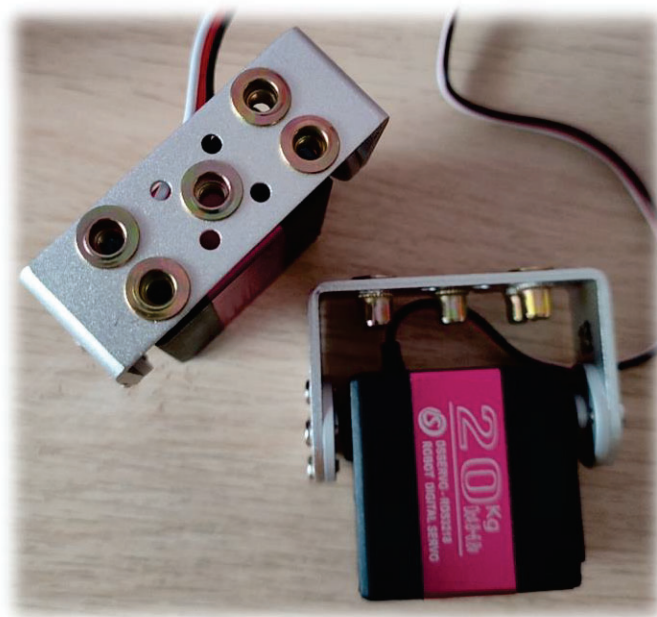


Figura 53 – Servomotor con la carcasa superior remachada (elaboración propia)

5. Atornillar

Ahora se atornillan los soportes al servomotor, ver figura 54.

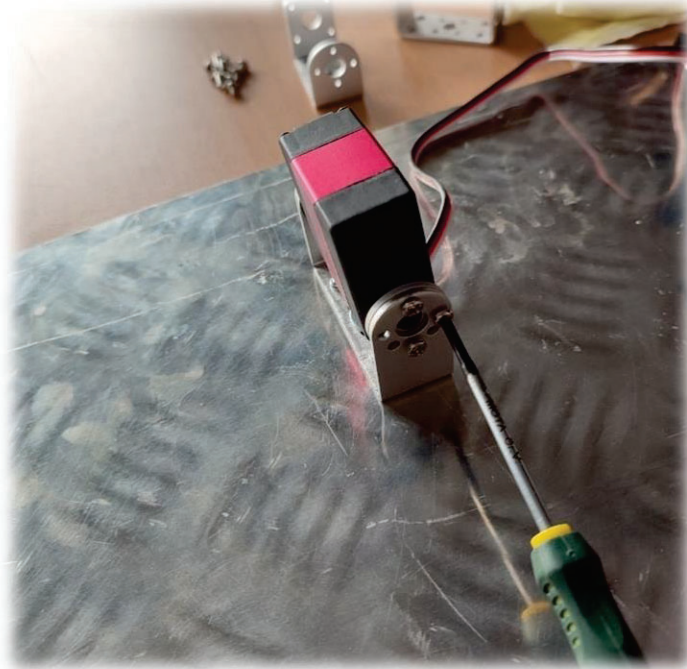


Figura 54 – Atornillando el servomotor al soporte (elaboración propia)

Se atornilla la pletina metálica, el tablero y el soporte de abajo del servomotor, ver figura 55.

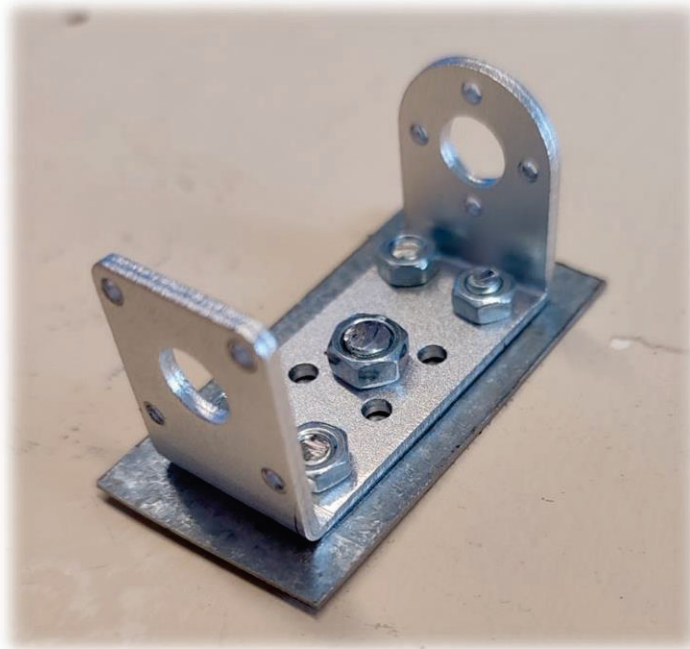


Figura 55 – Atornillando Soporte – Pletina metálica – Madera (elaboración propia)

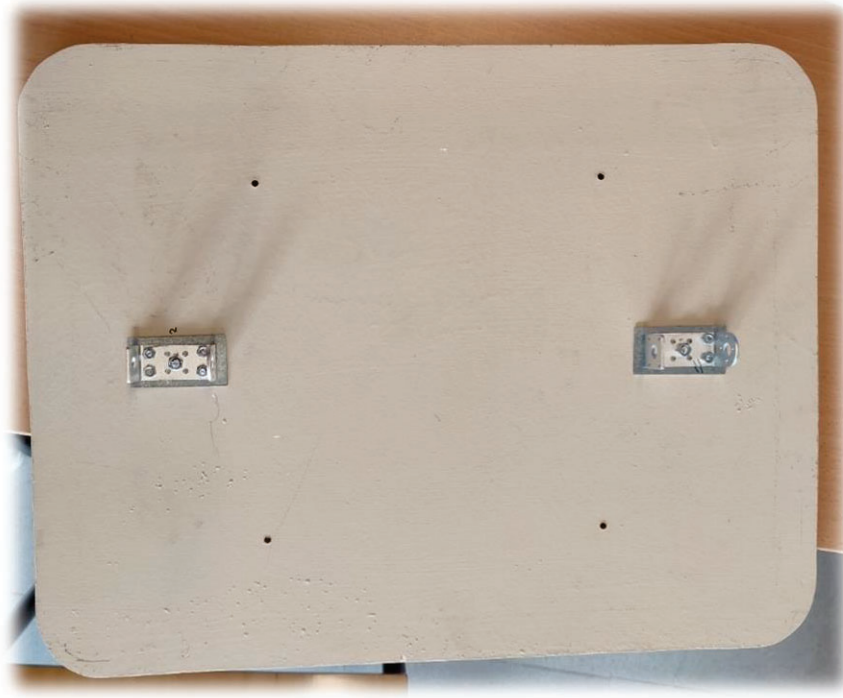


Figura 56 – Soportes atornillados (elaboración propia)

6. Cableado

Se comienza con el cableado, las células de carga van pegadas al tablero de madera, ver figura 57.

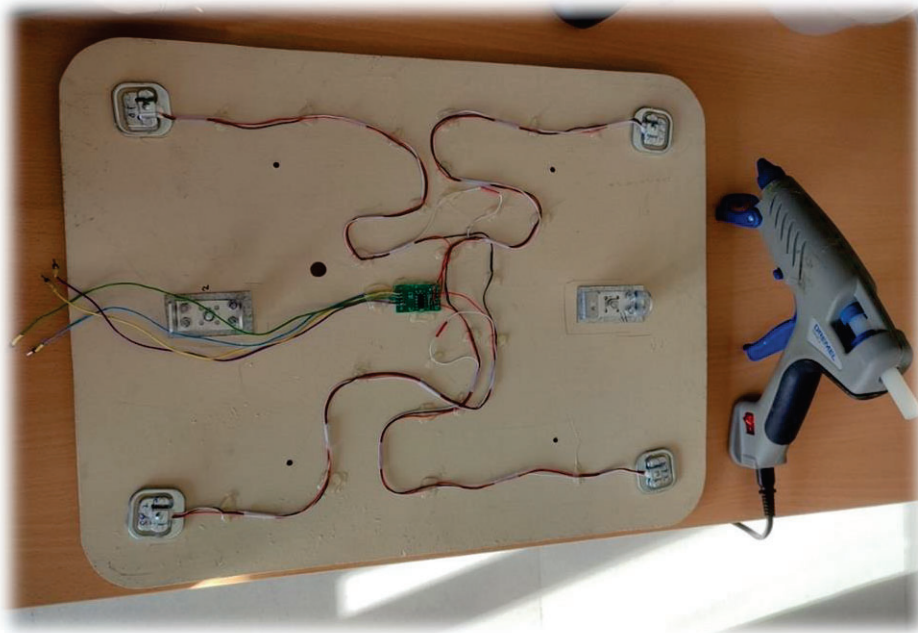


Figura 57 – Pegando células de carga a la base de madera (elaboración propia)

Se atornilla el chapón con el tablero de madera para que no esté libre, ver figura 58.

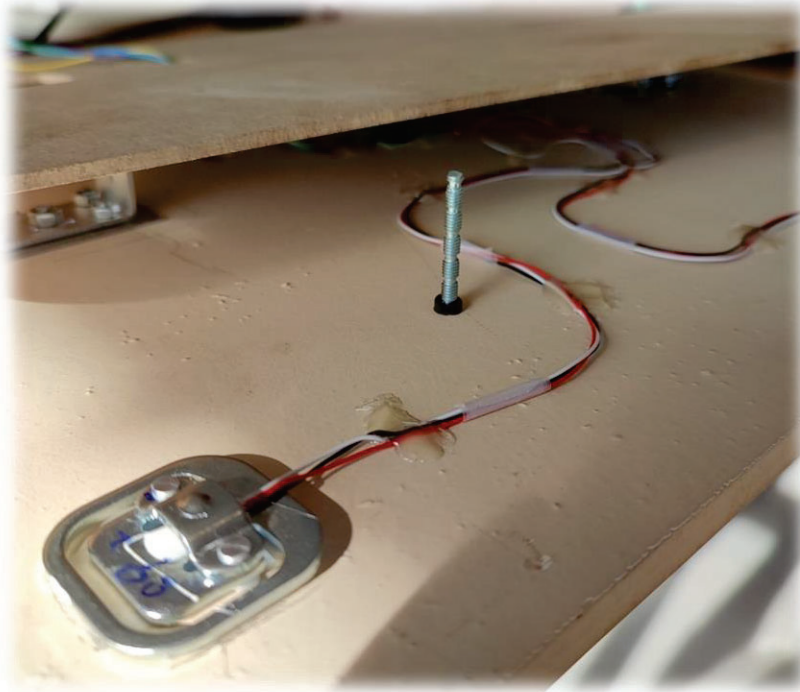


Figura 58 – Atornillando Base de madera – Chapón (elaboración propia)

Se le añaden las patas al reposapiés y se pasa el cable de la fuente de alimentación, ver figura 59.

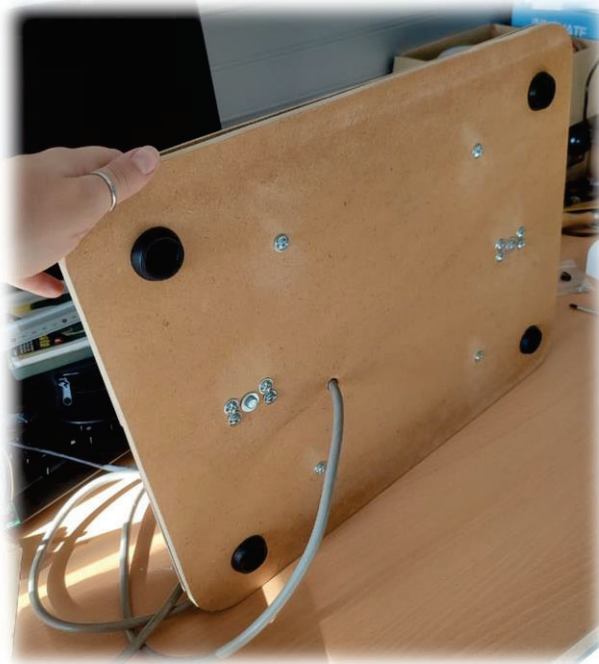


Figura 59 – Cable de la fuente de alimentación (elaboración propia)

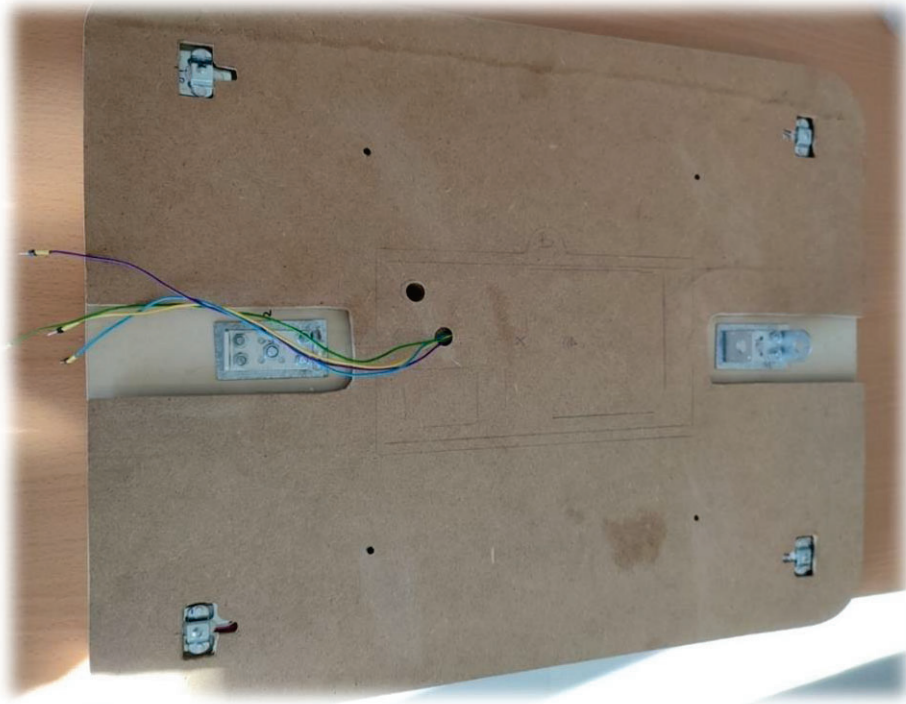


Figura 60 – Montaje de las células de carga (elaboración propia)

Se añade la fuente de alimentación y se conecta, ver figura 61.

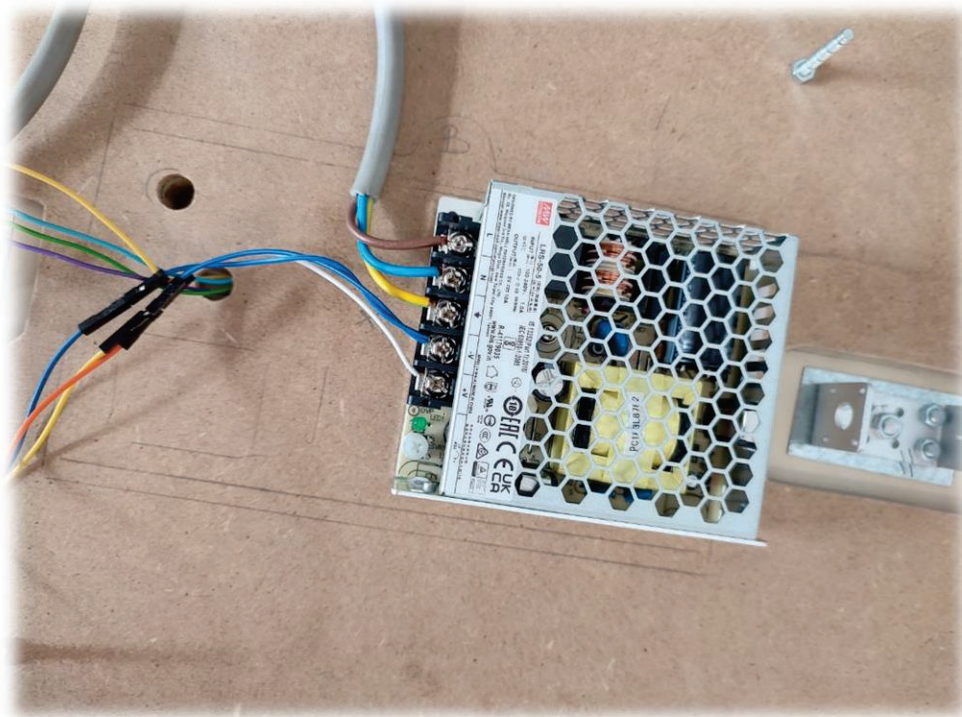


Figura 61 – Montaje Fuente de alimentación (elaboración propia)

En la figura 62 se puede observar cómo quedaría el montaje electrónico completo.

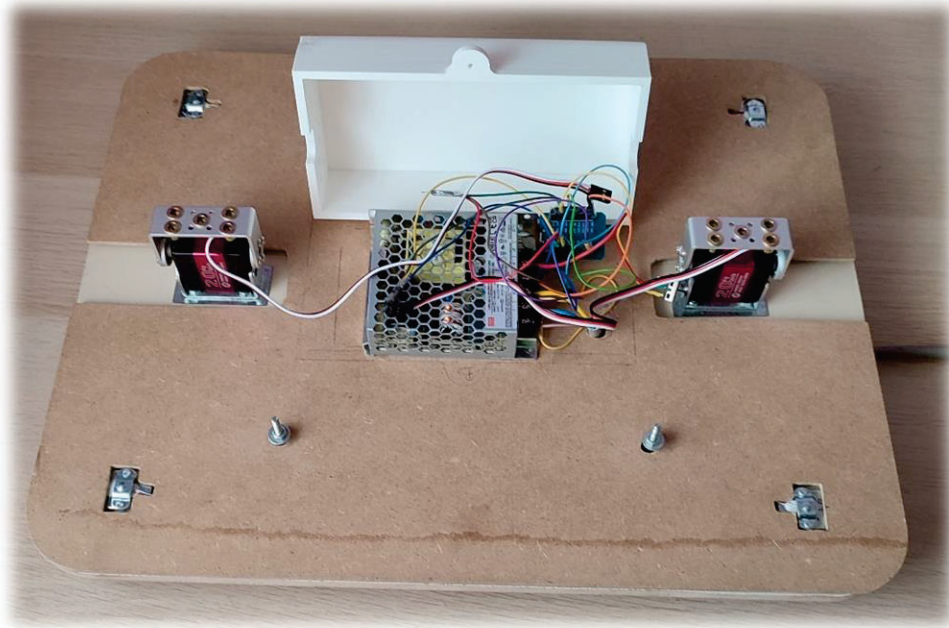


Figura 62 – Montaje electrónico completo (elaboración propia)

7. Reposapiés terminado

Finalmente, en la figura 63, se puede ver el resultado de este proyecto.



Figura 63 – Reposapiés terminado (elaboración propia)

9. Conclusiones

Se ha conseguido el objetivo principal del proyecto, diseñar y desarrollar un reposapiés con un movimiento de balanceo que permite la flexión y extensión de pies y piernas, mejorando la circulación sanguínea de aquellas personas que lo utilicen por estar muchas horas sentadas, ya sea por razones laborales o por algún impedimento en su movilidad.

Se han fabricado dos dispositivos independientes con un gran potencial gracias a su comunicación vía Wi-Fi. Esto permitirá al usuario poder cambiar la inclinación y velocidad de movimiento del reposapiés en todo momento.

Las pruebas realizadas de ambos dispositivos han permitido validar su funcionamiento, así como la comunicación que se utiliza entre ambos elementos.

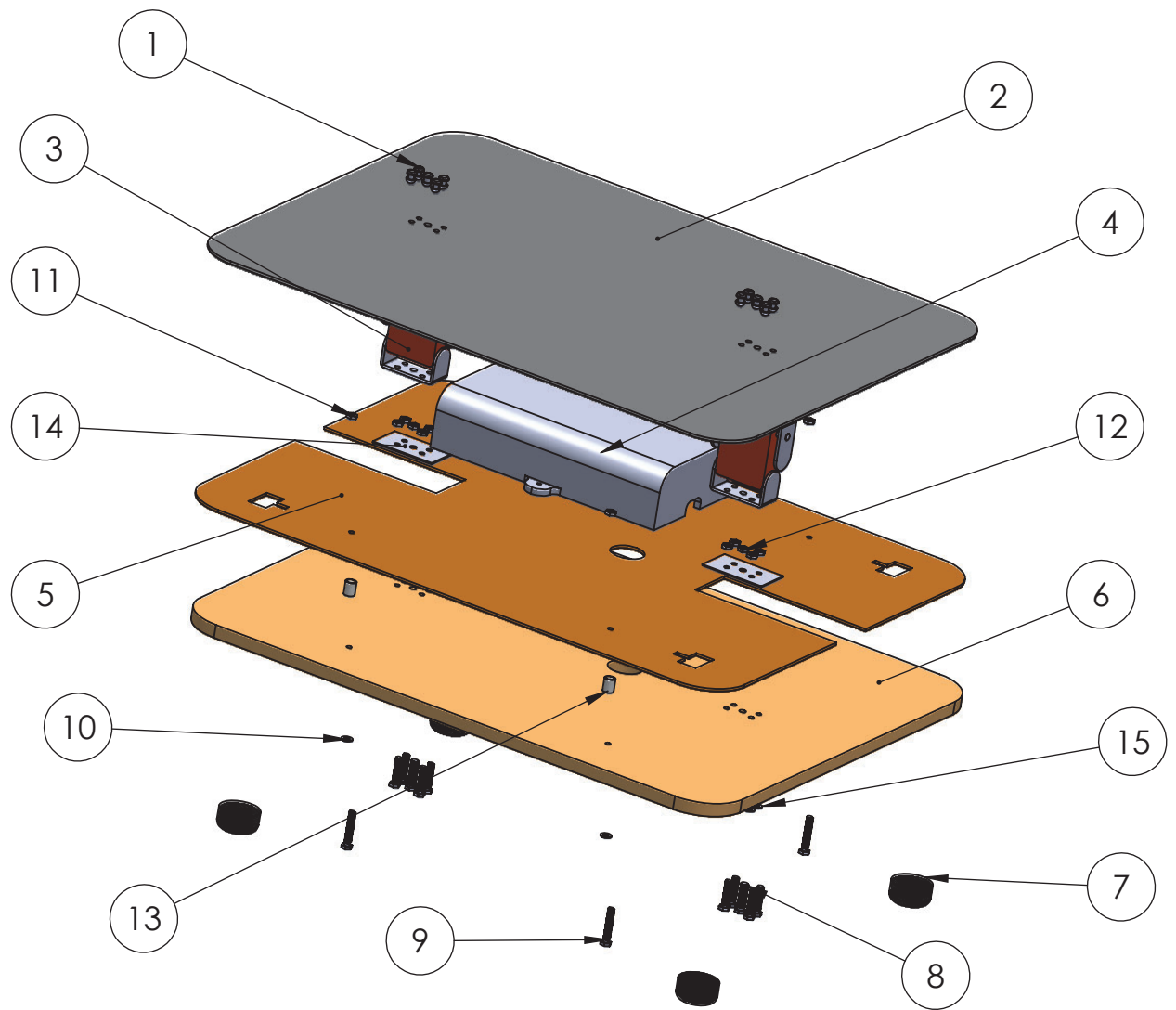
Una de las ventajas de este dispositivo es que además de cumplir con la función de un reposapiés convencional, se le ha añadido un movimiento de balanceo leve con diferentes inclinaciones y velocidades, las cuáles el usuario puede cambiar con el mando a distancia según lo requiera.

Gracias al desarrollo de este proyecto he podido aprender con más detalle algunas disciplinas estudiadas durante el grado, entre ellas se encuentra el estudio de las conexiones de los diferentes elementos que se han utilizado, soldar todos los dispositivos, programar en Arduino, fabricar a escala real con diferentes herramientas el reposapiés, y finalmente modelar los diseños para imprimir algunos de ellos en 3D.



Por último, me gustaría que este trabajo se llegara a aplicar en la realidad y no se quedara en un estudio, porque gracias a él muchas personas se verían favorecidas ya que aumentarían su bienestar tanto física como mentalmente. Para poder llevar a cabo este proceso sólo habría que cambiar los servomotores utilizados en el prototipo por dos de 150 kg*cm de torque para que así el reposapiés tenga la fuerza suficiente para balancear los pies de una persona de hasta 120 kg de peso.

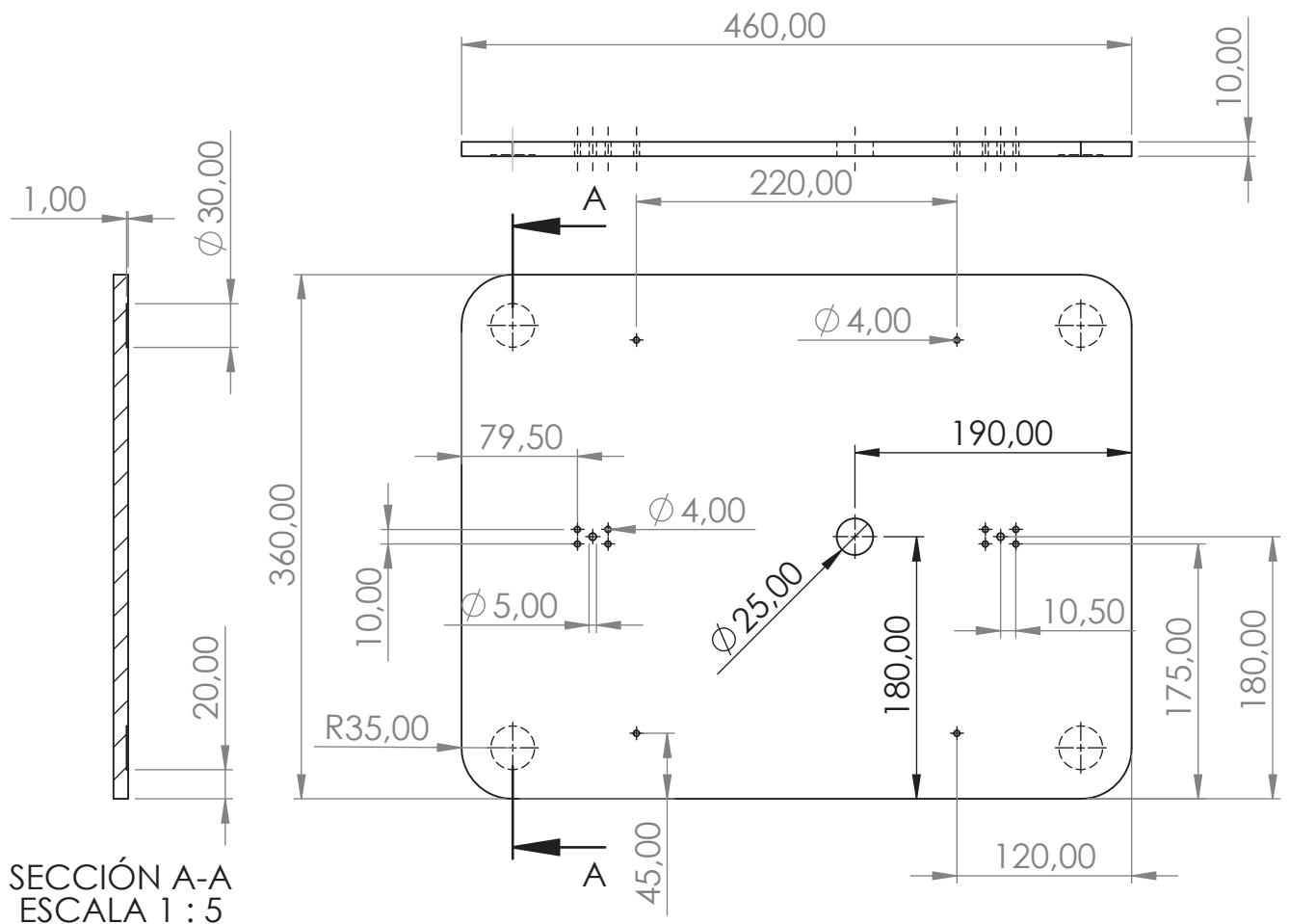


10. Planos

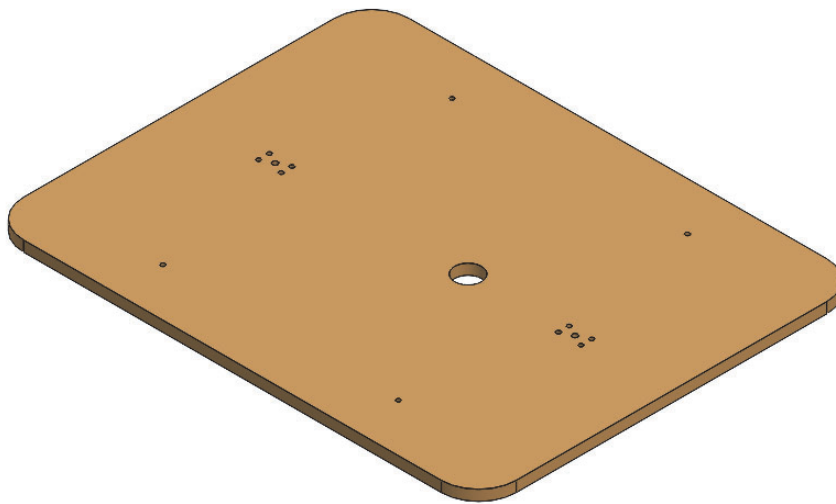




Nº de elemento	Nombre	Cantidad
1	Tuerca remachable con tornillo M4	10
2	Chapa lagrimada de aluminio	1
3	Servomotor 20 kg	2
4	Carcasa cableado	1
5	Tablero de chapón	1
6	Base reposapiés	1
7	Pata de goma	4
8	Tornillo hexagonal M5	2
9	Tornillo hexagonal M4	12
10	Arandela M4	12
11	Tuerca hexagonal M4	12
12	Tuerca hexagonal M5	2
13	Soporte de plástico	4
14	Pletina metálica	2
15	Arandela M5	2

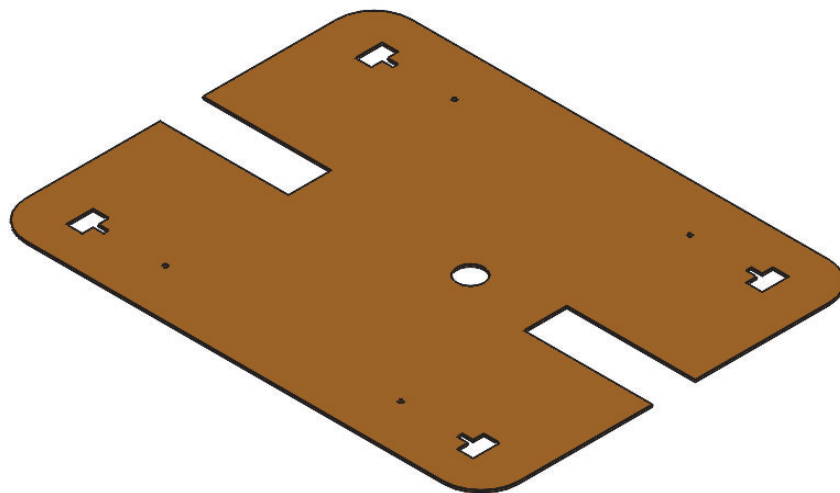
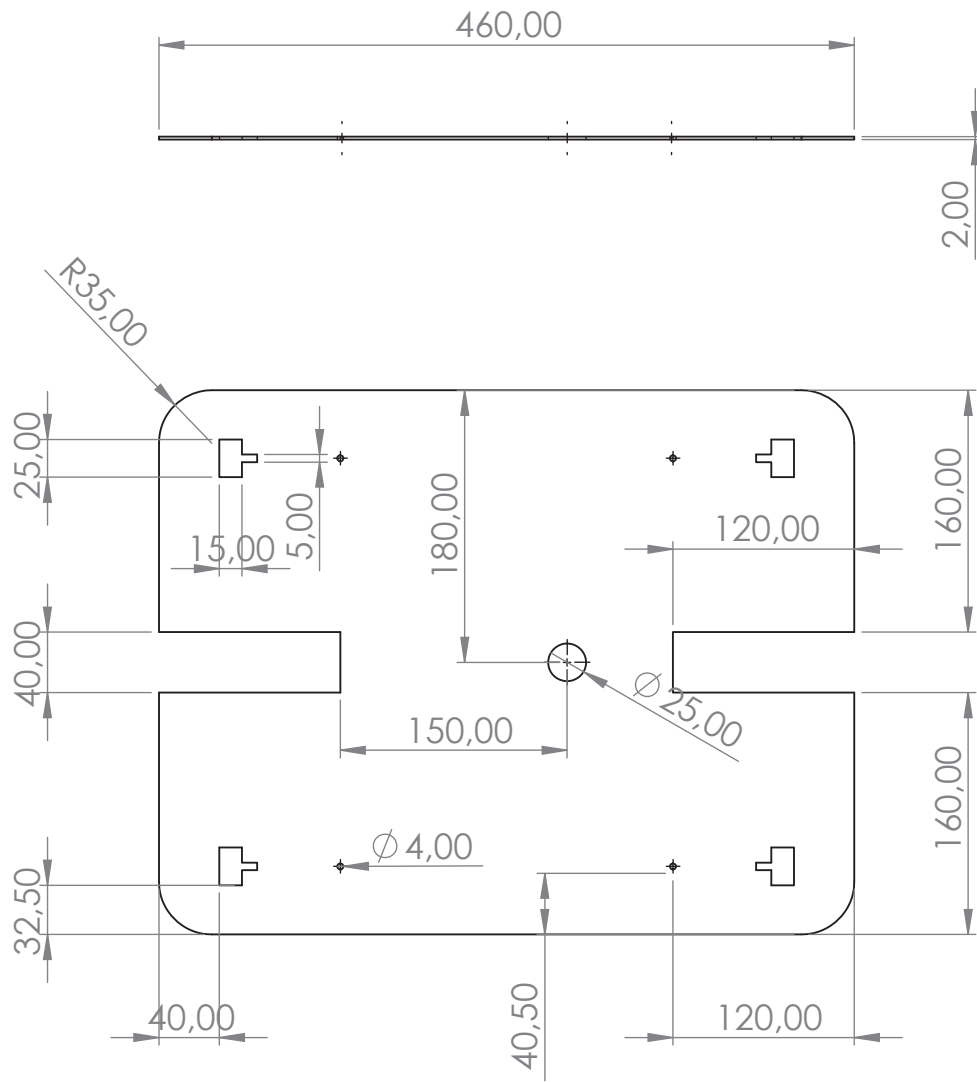
Título del proyecto: DISEÑO Y DESARROLLO DE UN REPOSAPIÉS CON FUNCIONES AUTOMATIZADAS		
Escala: 1:5	Denominación plano: Explosionado reposapiés automatizado	
Fecha: 13/01/2023	Autora: Paula María Fernández Villalobos	Firma: 



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5



Título del proyecto: DISEÑO Y DESARROLLO DE UN REPOSAPIÉS CON FUNCIONES AUTOMATIZADAS		
Escala: 1:5	Denominación plano: Base reposapiés	
Fecha: 13/01/2023	Autora: Paula María Fernández Villalobos	Firma: 



Título del proyecto:
DISEÑO Y DESARROLLO DE UN REPOSAPIÉS CON
FUNCIONES AUTOMATIZADAS



Escala:
1:5

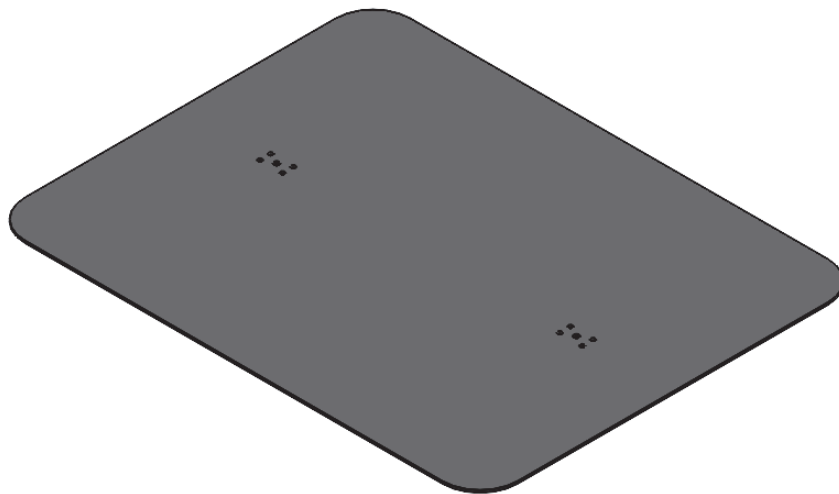
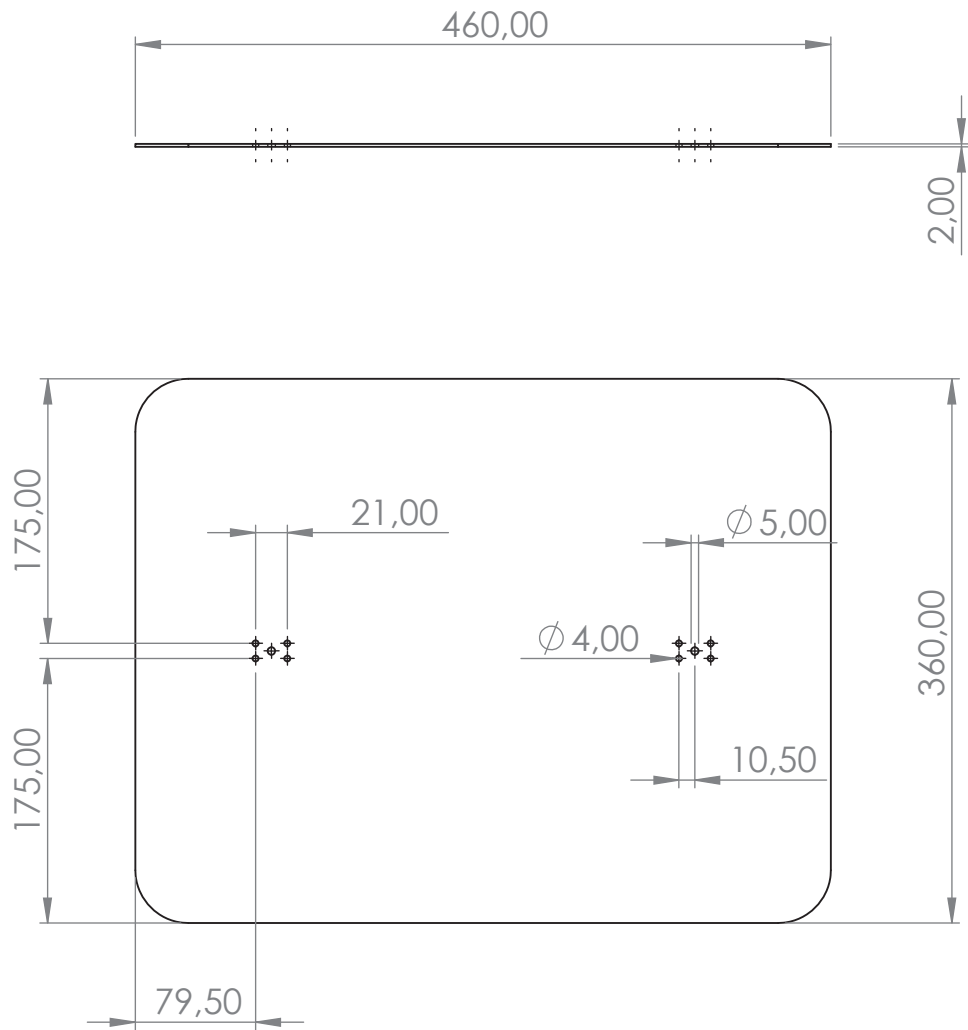
Denominación plano:
Tablero de chapón



Nº de plano:
3

Fecha:
13/01/2023

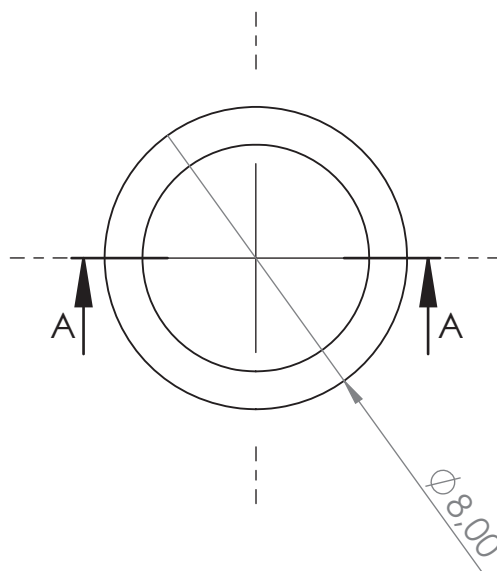
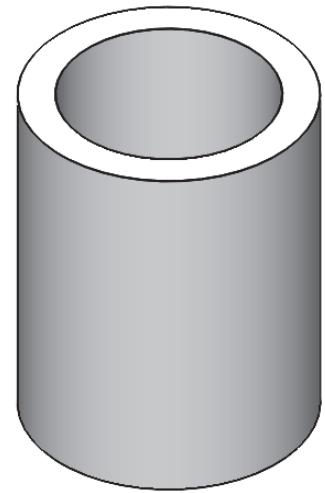
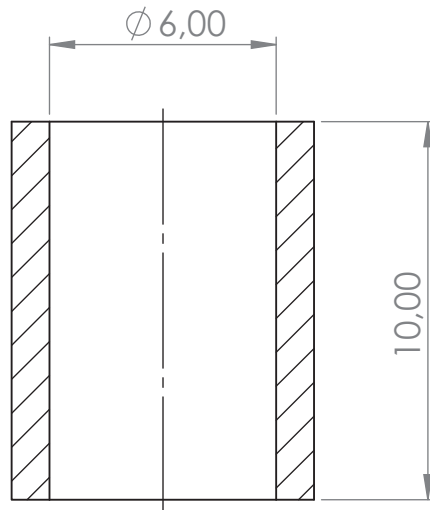
Autora:
Paula María Fernández Villalobos

Firma:



Título del proyecto: DISEÑO Y DESARROLLO DE UN REPOSAPIÉS CON FUNCIONES AUTOMATIZADAS		
Escala: 1:5	Denominación plano: Chapa lagrimada de aluminio	
Fecha: 13/01/2023	Autora: Paula María Fernández Villalobos	Firma: 

SECCIÓN A-A



Título del proyecto:
DISEÑO Y DESARROLLO DE UN REPOSAPIÉS CON
FUNCIONES AUTOMATIZADAS



Escala:
5:1

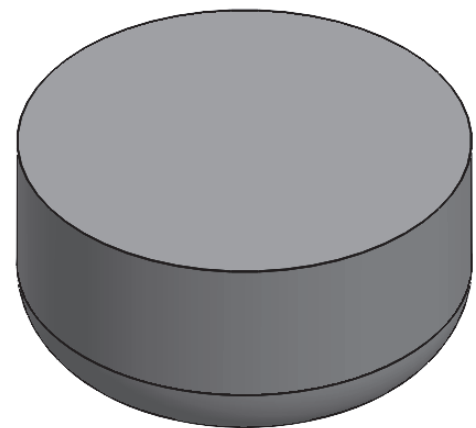
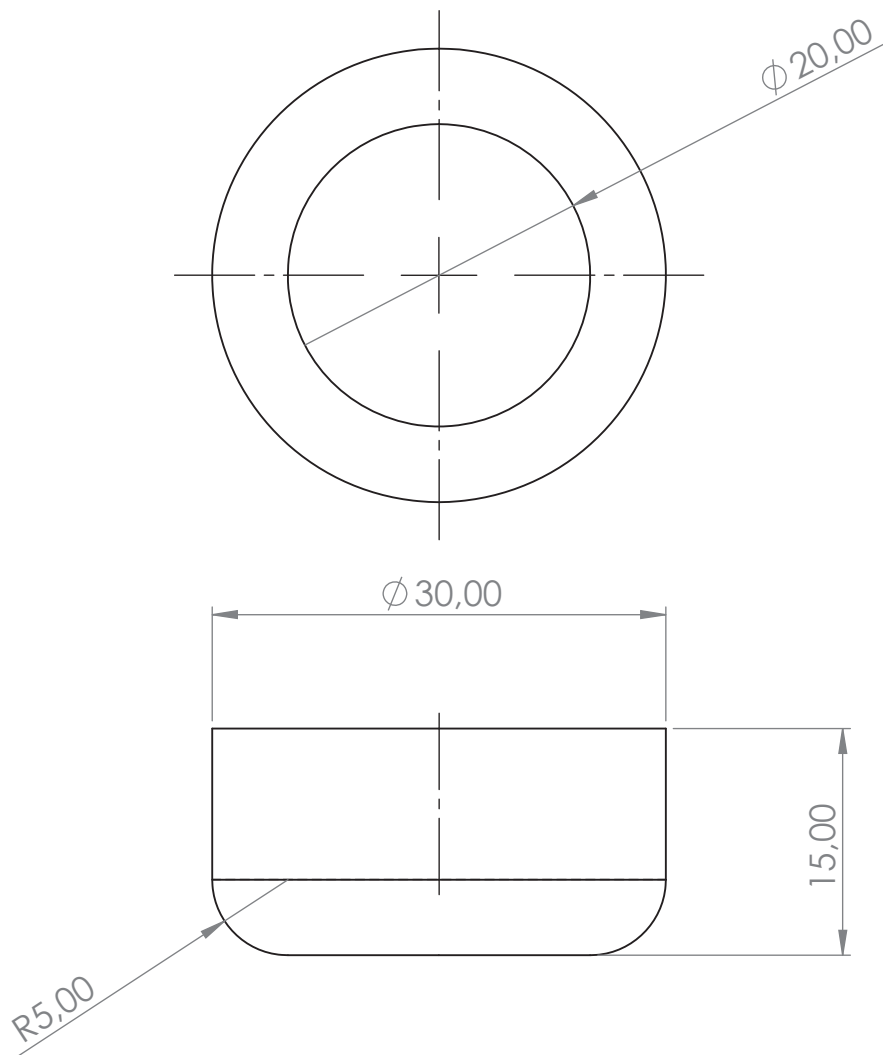
Denominación plano:
Soporte de plástico



Nº de plano:
5

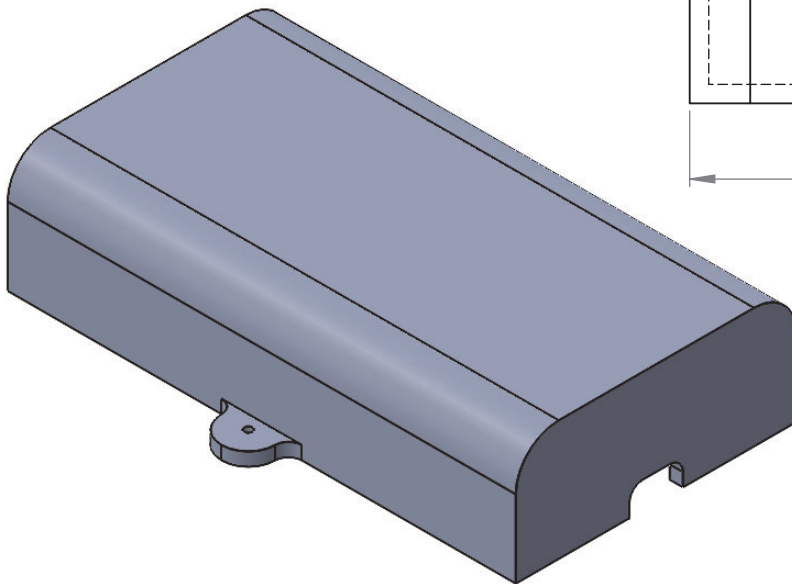
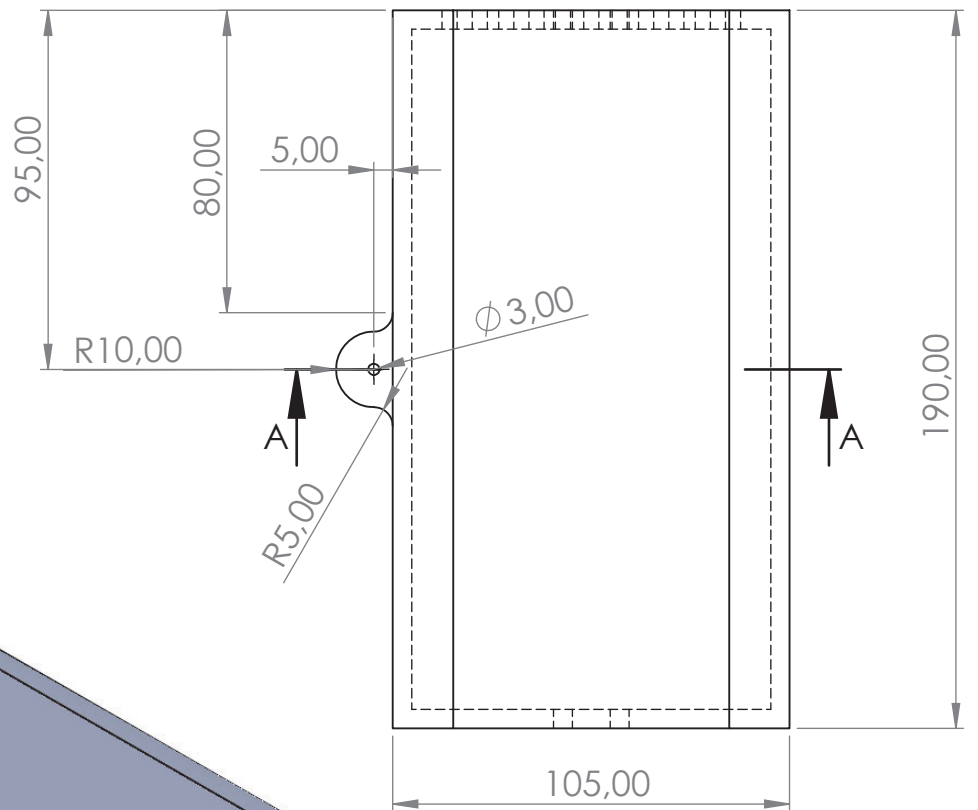
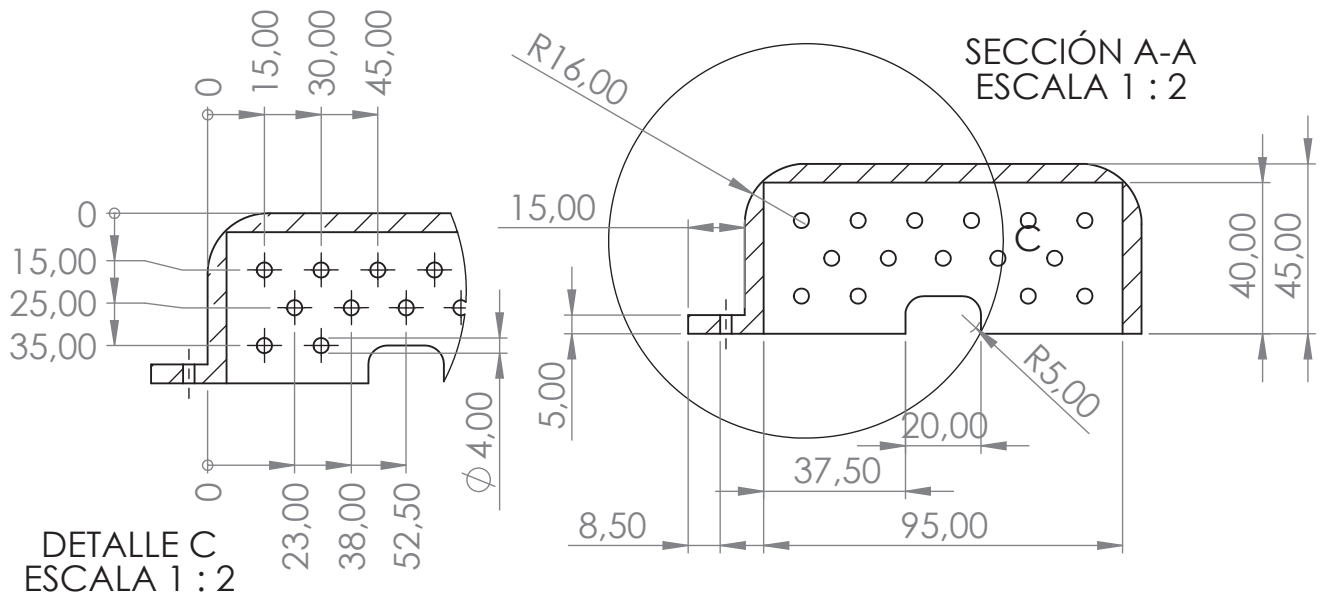
Fecha:
13/01/2023

Autora:
Paula María Fernández Villalobos

Firma:



Título del proyecto: DISEÑO Y DESARROLLO DE UN REPOSAPIÉS CON FUNCIONES AUTOMATIZADAS		
Escala: 2:1	Denominación plano: Pata de goma	
Fecha: 13/01/2023	Autora: Paula María Fernández Villalobos	Firma: 



Título del proyecto:
DISEÑO Y DESARROLLO DE UN REPOSAPIÉS CON
FUNCIONES AUTOMATIZADAS



Escala:
1:2

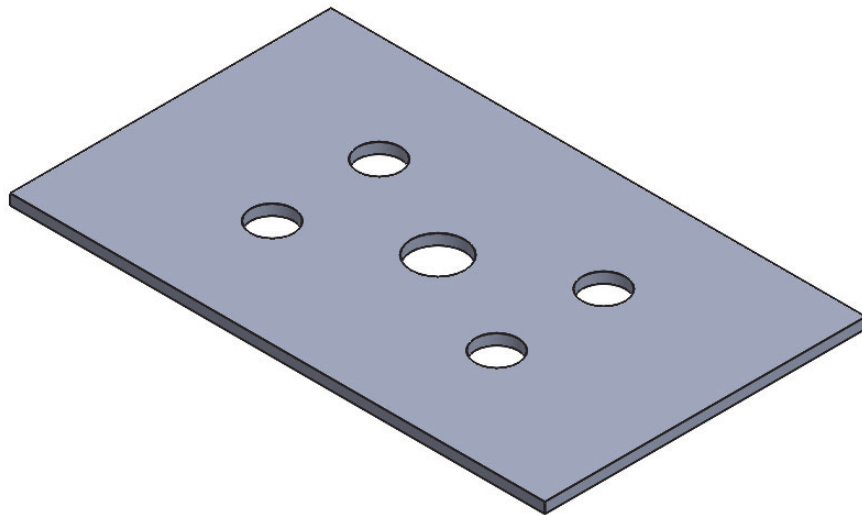
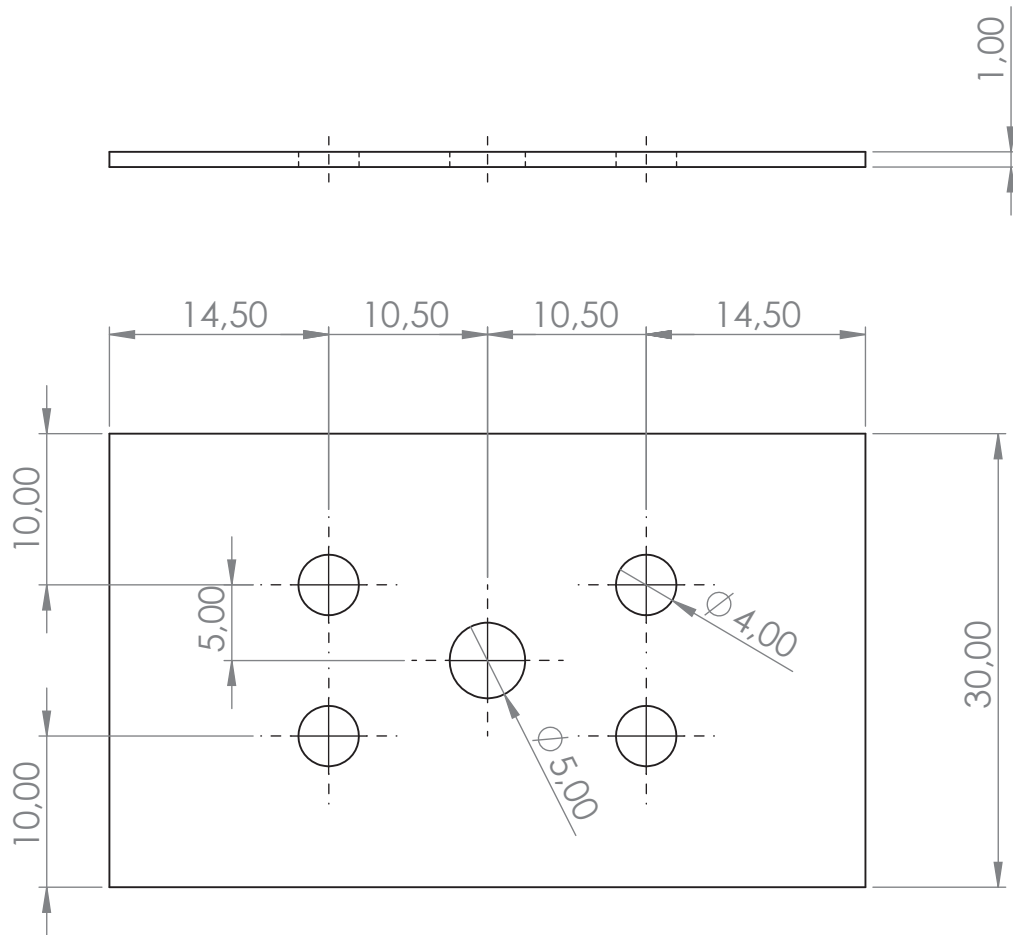
Denominación plano:
Carcasa cableado



Nº de plano:
7

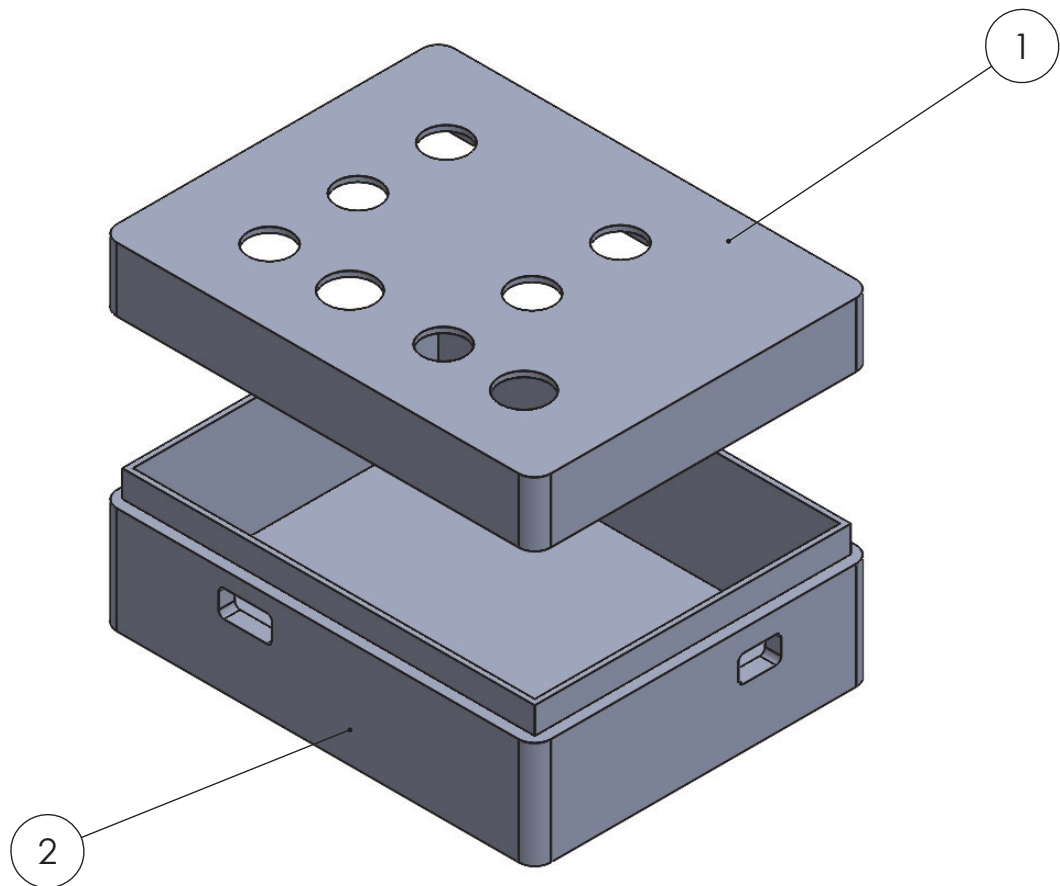
Fecha:
13/01/2023

Autora:
Paula María Fernández Villalobos



Firma:



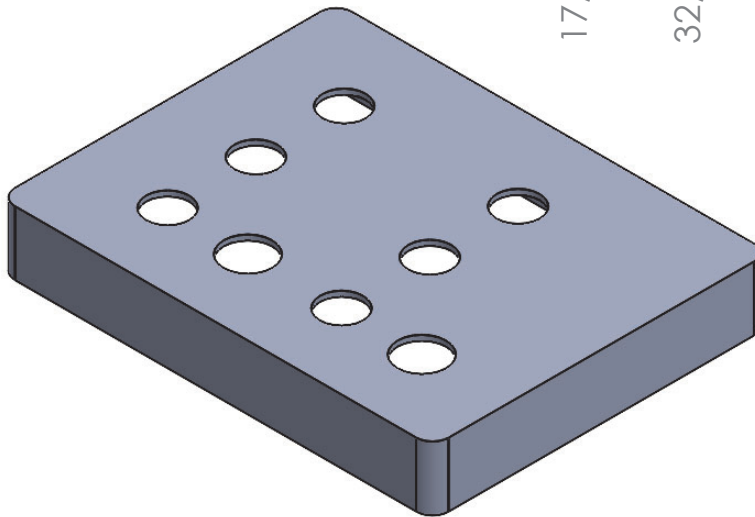
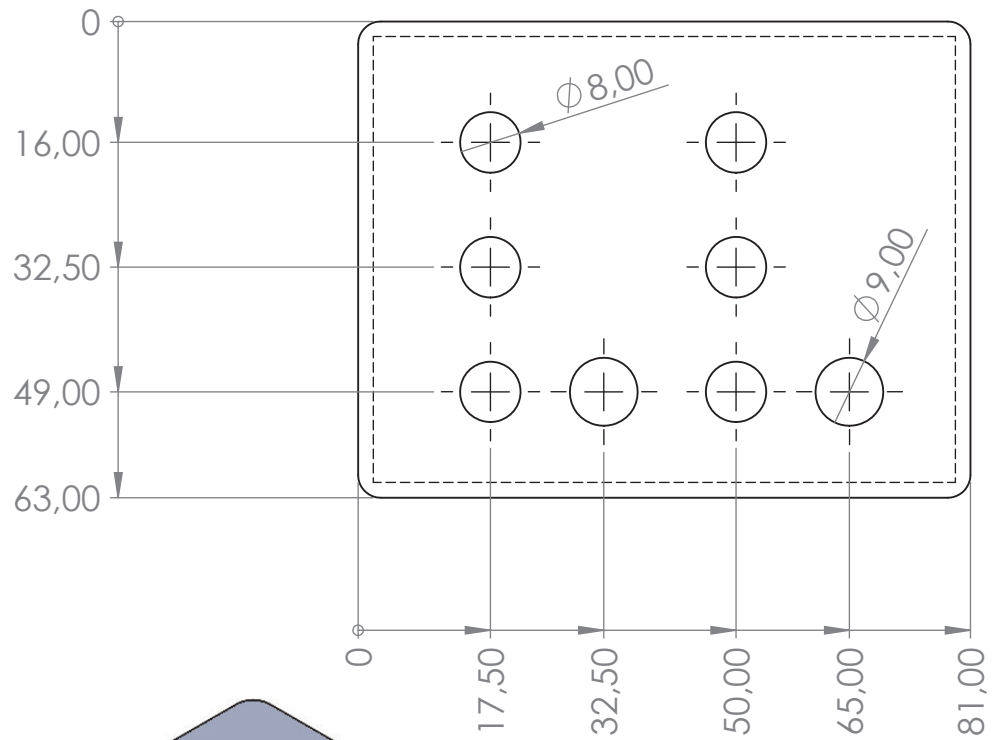
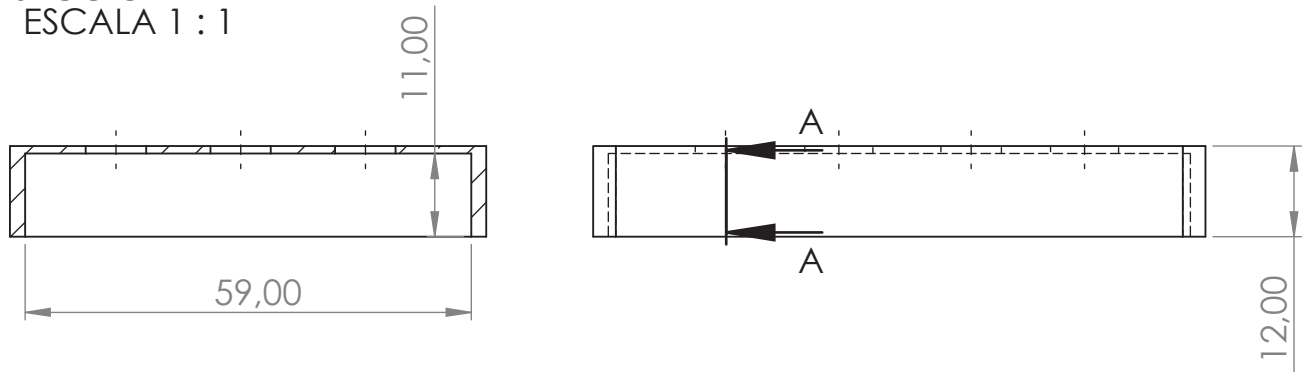
Título del proyecto: DISEÑO Y DESARROLLO DE UN REPOSAPIÉS CON FUNCIONES AUTOMATIZADAS		
Escala: 2:1	Denominación plano: Pletina metálica	
Fecha: 13/01/2023	Autora: Paula María Fernández Villalobos	Firma: 





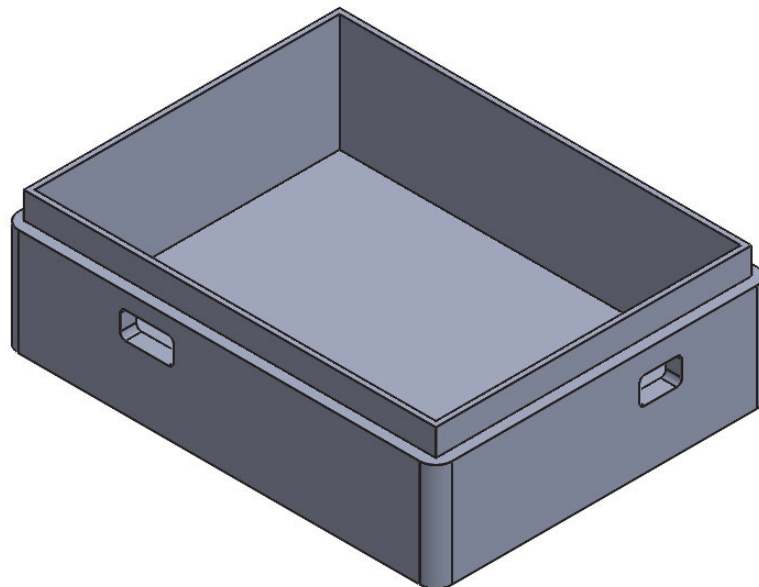
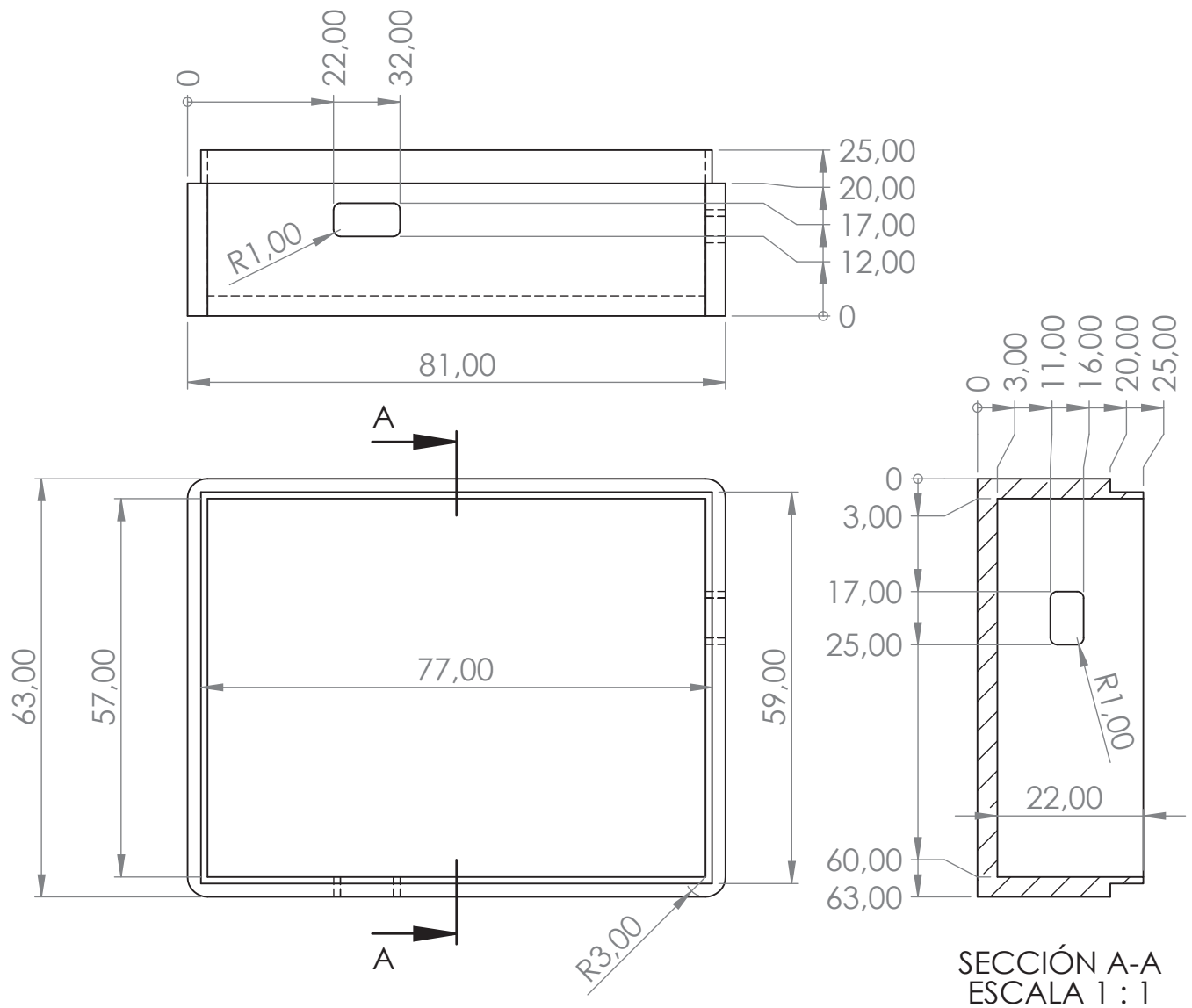
Nº de elemento	Nombre	Cantidad
1	Carcasa delantera	1
2	Carcasa trasera	1



Título del proyecto: DISEÑO Y DESARROLLO DE UN REPOSAPIÉS CON FUNCIONES AUTOMATIZADAS		
Escala: 1:1	Denominación plano: Explosionado mando a distancia	
Fecha: 13/01/2023	Autora: Paula María Fernández Villalobos	Firma: 

SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1



Título del proyecto: DISEÑO Y DESARROLLO DE UN REPOSAPIÉS CON FUNCIONES AUTOMATIZADAS		
Escala: 1:1	Denominación plano: Carcasa delantera mando a distancia	
Fecha: 13/01/2023	Autora: Paula María Fernández Villalobos	Firma: 



Título del proyecto: DISEÑO Y DESARROLLO DE UN REPOSAPIÉS CON FUNCIONES AUTOMATIZADAS		
Escala: 1:1	Denominación plano: Carcasa trasera	
Fecha: 13/01/2023	Autora: Paula María Fernández Villalobos	Firma: 

11. Estudio económico

Se ha realizado un estudio económico correspondiente al diseño y desarrollo del primer dispositivo pero teniendo en cuenta el servomotor que se debería utilizar en el producto final, como se puede observar en la tabla 1 el presupuesto final es tan elevado debida a los costes de desarrollo y comprar los materiales al por menor.

PRESUPUESTO - MATERIALES			
Materiales	Cantidad	Precio	Total
	Unidades	€/u	€
Módulo Wi-Fi ESP32 mini	2	6,60 €	13,21 €
Servo Robot RDS51150	2	39,25 €	78,50 €
Fuente de alimentación	1	13,48 €	13,48 €
Interruptor deslizante vertical	2	0,30 €	0,60 €
Amplificador de carga	1	9,91 €	9,91 €
Tira de leds	1	9,92 €	9,92 €
Batería Lipo 3.7V 650 mAh	2	4,79 €	9,59 €
Cargador Tipo U	1	0,99 €	0,99 €
Pack cables	1	7,43 €	7,43 €
Resistencia de 10k Ohm	1	5,36 €	5,36 €
Botón pulsador	2	3,14 €	6,28 €
Tornillo M4x45	13	0,09 €	1,18 €
Tornillo M5x45	2	0,17 €	0,35 €
Pack Arandela Plana M4	1	0,81 €	0,81 €
Pack Arandela Plana M5	1	0,91 €	0,91 €
Pack Tuerca Hexagonal M4	1	1,23 €	1,23 €
Pack Tuerca Hexagonal M5	1	0,93 €	0,93 €
Pack Bisagra Estuche	1	1,54 €	1,54 €
Microtubo de polietileno	1	4,01 €	4,01 €
Pack Tuercas Remachables M4	1	9,59 €	9,59 €
Tornillo avellanado M4x10	10	0,02 €	0,17 €
Pata regulable	4	1,03 €	4,13 €
TOTAL		180,09 €	
PRESUPUESTO - MANO DE OBRA			
Mano de Obra	Trabajo	Sueldo	Total
	h	€/h	€
Modelado	9	12,00 €	108,00 €
Impresión 3D	20	5,00 €	100,00 €
Montaje del dispositivo	15	13,00 €	195,00 €
Código de programación	50	30,00 €	1.500,00 €
TOTAL		1.903,00 €	
PRESUPUESTO FINAL			
Material		180,09 €	
Mano de obra		1.903,00 €	
Subtotal		2.083,09 €	
Gastos generales (13%)		270,80 €	
I.V.A (21%)		494,32 €	
TOTAL		2.848,21 €	

Tabla 1 – Estudio económico

Suponiendo una producción más prominente el precio de venta al público se verá notablemente favorecido. Por ejemplo, si se estima una producción de 1000 unidades podemos realizar las siguientes consideraciones:

- El presupuesto de materiales se vería reducido en un 50% por comprar los componentes al por mayor.
- El presupuesto de mano de obra constaría de una reducción de horas en el montaje del dispositivo ya que estaría automatizado; se invertiría sólo media hora en los códigos de programación porque estos ya estarían desarrollados, sólo se tendrían que verificar y compilar a sus respectivos microcontroladores; el modelado ya no se tendría en cuenta y la impresión 3D se reduciría en la mitad de las horas de trabajo por la utilización de mejor maquinaria y una reducción de costes por la alta producción.
- Se le añade un I.V.A del 21% al subtotal compuesto por el coste de los materiales y la mano de obra.
- Por último, se le aplicaría un beneficio del 15% al producto final.

En la siguiente tabla se puede observar cómo quedaría el presupuesto de venta al público.

PRESUPUESTO - MATERIALES			
Materiales (Descuento del 50%)			
Materiales	90,05 €		
PRESUPUESTO - MANO DE OBRA			
Mano de Obra	Trabajo	Sueldo	Total
	h	€/h	€
Montaje del dispositivo	1	13,00 €	13,00 €
Programación	0,5	10,00 €	5,00 €
Impresión 3D	7,5	2,50 €	18,75 €
TOTAL	36,75 €		
PRESUPUESTO P.V.P			
Material	90,05 €		
Mano de obra	36,75 €		
Subtotal	126,80 €		
I.V.A (21%)	26,63 €		
Beneficio (15%)	23,01 €		
TOTAL	176,44 €		

Tabla 2 – Estudio económico de precio de venta al público

12. Bibliografía

- 2playbook.* (2020). Obtenido de https://www.2playbook.com/mas-deporte/radiografia-sedentarismo-en-espana-mujeres-tercera-edad-deporte-como-reto-pendiente_6279_102.html
- acciopreventiva.* (s.f.). Obtenido de <https://acciopreventiva.com/riesgos-ergonomicos/>
- Alibaba.com.* (s.f.). Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/5V-Boost-Step-Up-Power-Module-62365243950.html>
- Amazon.* (s.f.). Obtenido de https://www.amazon.es/DAOKAI-Resistencia-Tensi%C3%B3n-voltaje-precisi%C3%B3n/dp/B09YYJCM35/ref=sr_1_16?crid=Y17ROCQEU95S&keywords=celula+de+carga&qid=1671131138&s=industrial&sprefix=celula%2Cindustrial%2C97&sr=1-16
- Amazon.* (s.f.). Obtenido de https://www.amazon.es/HUAZIZ-Interruptor-Deslizante-Vertical-Posiciones/dp/B09QQLTQ1C/ref=sr_1_6?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=369CVWGJSR3MP&keywords=interruptor+palanca+vertical&qid=1671204195&sprefix=interruptor+palanca+vertical%2Caps%
- Amazon.* (s.f.). Obtenido de https://www.amazon.es/Cvesper-Impermeable-Digital-Montaje-Robotic/dp/B07QFJ7L4C/ref=sr_1_296?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=2D9UUXI8ED6ZE&keywords=robot+servo&qid=1658220963&sprefix=robot+servo%2Caps%2C100&sr=8-296
- Aula21.* (2020). Obtenido de <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-servomotor/>
- BOE-A-1997-8671. (s.f.). En M. d. Sociales. Madrid.
- CareFlex.* (s.f.). Obtenido de <https://www.careflex.co.uk/info-centre/blogs/feet-are-they-really-that-important-if-we-are-sitting-down/#:~:text=Through%20buttocks%20and%20thighs%3A%2075,Through%20the%20back%3A%204%25>
- Compañía Levantina de Reductores.* (s.f.). Obtenido de <https://clr.es/blog/es/motor-paso-a-paso-cuando-utilizarlo/>

- Cormillot, D. A. (4 de Diciembre de 2020). *infobae*. Obtenido de <https://www.infobae.com/tendencias/2020/12/04/cuanto-pesan-la-ropa-los-accesorios-y-el-calzado/>
- DesdeLinux*. (3 de Mayo de 2020). Obtenido de <https://blog.desdelinux.net/ultimaker-cura-una-excelente-aplicacion-para-preparar-modelos-para-impresion-3d/>
- Education, I. -S. (16 de Junio de 2011). *imf-formacion*. Obtenido de <https://www.imf-formacion.com/noticias/objetivos-de-la-ergonomia>
- electronilab*. (s.f.). Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/board-de-desarrollo-wemos-d1-mini-esp32-wifiblueetooth-ble/>
- Ergológico*. (2018). Obtenido de <http://www.ergologico.com/las-4-caracteristicas-de-un-reposapias-ergonomico/>
- Ergonomía, A. E. (s.f.). *ergonomos*. Obtenido de <http://www.ergonomos.es/ergonomia.php>
- FREMAP. (s.f.). *Seguridad y Salud en Oficinas*. Obtenido de <http://www.fremap.es>
- Hospital del niño*. (8 de Agosto de 2020). Obtenido de <https://hn.sld.pa/sedentarismo-causas-y-consecuencias/>
- IMF Smart Education*. (16 de Junio de 2011). Obtenido de <https://www.imf-formacion.com/noticias/objetivos-de-la-ergonomia>
- IMHOTEP Prevención SL*. (5 de Diciembre de 2020). Obtenido de <https://www.smpreencio.com/sedentarismo-entorno-laboral/#:~:text=Una%20jornada%20laboral%20sedentaria%20y,cuello%2C%20tensi%C3%B3n%20muscular%20o%20contracturas.>
- Ltda, I. M. (s.f.). *ARDUINO.cl*. Obtenido de <https://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Luque, E. O. (2021). *Metacontratas*. Obtenido de <https://www.metacontratas.com/blog/que-es-la-ergonomia-en-la-oficina/>
- M.A. (1 de Septiembre de 2021). *CMD SPORT*. Obtenido de <https://www.cmdsport.com/multideporte/actualidad-multideporte/espana-cuarto-pais-europeo-mas-sedentarios/>
- Mouser Electronics*. (s.f.). Obtenido de <https://www.mouser.es/ProductDetail/MEAN-WELL/LRS-50-5?qsv=DxCgdWo2h9hVrbBDwCVQA%3D%3D>

Seating Matters. (26 de Mayo de 2022). Obtenido de <https://seatingmatters.com/gb-ie/learn/blog/the-importance-of-loading-the-feet-in-seating>

Sedentarismo: causas y consecuencias. (28 de Julio de 2020). Obtenido de <https://hn.sld.pa/sedentarismo-causas-y-consecuencias/>

Snurmacher, A. C. (9 de Septiembre de 2019). *Dron profesional.* Obtenido de <https://dronprofesional.com/blog/tutorial-teorico-practico-con-servos-y-arduino/>

SolidBi. (s.f.). Obtenido de <https://solid-bi.es/solidworks/>

TME. (8 de Septiembre de 2020). Obtenido de <https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/41861/Motor-paso-a-paso-tipos-y-ejemplos-del-uso-de-motores-paso-a-paso/>

Trabajo, I. N. (2018). *Notas Técnicas de Prevención 1.129.* Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/564690/NTP-1.129w.pdf/0495a165-4f77-4444-a2c9-90963623e286>

UltiMaker. (s.f.). Obtenido de <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura>

Unit Electronics. (s.f.). Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/fuente-de-alimentacion-5v-10a/>

UNIT Electronics. (2016-2022). Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/bateria-lipo-3-7v-650mah-802040/>

ANEXOS

A. Cálculo del torque del servomotor

En este anexo se estudian las fuerzas que soporta el reposapiés durante su funcionamiento, concretamente este estudio se va a centrar en el torque mínimo que debe ejercer el servomotor.

Primero se va a comprobar si los que se han utilizado en el prototipo, dos servomotores de 20 kg*cm, son suficientes para que el dispositivo realice el balanceo teniendo en cuenta el peso de los pies de una persona adulta sentada y el peso de los zapatos.

En caso contrario, se realizará un estudio para saber qué par motor debe soportar y así elegir el servomotor que se instalaría en el producto final.

A.1. Distribución del peso de una persona sentada

La postura y la presión están indisolublemente unidas, la posición del cuerpo influye directamente en la presión que se ejerce en determinadas zonas del cuerpo, es importante tener un control de la presión que se reparte por el cuerpo en posición sentada, la mayor parte posible del usuario debe estar cargado sobre su silla, lo que incluye sus pies.

La distribución del peso de una persona sentada correctamente es la siguiente (CareFlex, s.f.):

- A través de las nalgas y los muslos: 75%
- A través de los brazos de la silla: 2%
- Por la espalda: 4%
- A través de los pies: 19%

El 19% de ese peso se distribuye a través de los tobillos y los talones en una postura sentada normal, lo que puede convertir los pies en una zona de alto riesgo por úlceras o lesiones por presión.

Esto hace hincapié en la importancia de cargar los pies adecuadamente y no descuidar esta zona al sentarse (Seating Matters, 2022).

A.2. Peso de los zapatos

La ropa es un accesorio que pasa desapercibido en cuanto a su peso, en este estudio se ha tenido en cuenta el peso de los zapatos ya que influye directamente en el reposapiés.

Hay una diferencia entre el calzado masculino y el femenino siendo las botas de cuero masculinas las más pesadas, concretamente de 1.400 kg (Cormillot, 2020), para realizar la hipótesis se va a tener en cuenta ese dato ya que sería el caso más desfavorable de todos los existentes.

A.3. Funcionamiento del par motor de un servo

El par motor de un servo normalmente se mide en kilos por centímetro. Por ejemplo, si un servomotor es de 1 kg x cm, indica que podrá levantar un peso de 1 kg situada a un centímetro de distancia como máximo del eje de giro, es decir, si colocamos la misma carga pero a más distancia, el servo no tendrá la fuerza suficiente para levantarlo.

Los servos son motores que, para lograr su fuerza, usan un sistema de reductora por engranajes. En otras palabras, reducen la velocidad de giro en favor del aumento de la fuerza de torque (Snurmacher, 2019).

A.3.1 Relación entre el ángulo de la fuerza y la fuerza de torque

La fuerza es un vector que tiene magnitud y dirección, dado que los servomotores tienen un brazo ajustado al eje, suponemos la fuerza perpendicular a la fuerza del brazo.

Si una persona está sujetando un cubo de agua con el brazo hacia abajo, necesitará muy poca fuerza para separar un poco el cubo del cuerpo y que no le salpique el agua al andar, pero si intenta continuar levantando el cubo con los brazos en cruz (levantados hasta la altura del hombro), el brazo en esa posición quedará en horizontal y perpendicular a la fuerza de la gravedad.

El torque a 90° tendrá un valor máximo, este será el peso del cubo multiplicado por la longitud de brazo, si se pasan los límites se puede romper un tendón. Si la persona no tiene mucha fuerza no podrá subir tanto el brazo porque el torque es proporcional al seno del ángulo.

A.3.2 Cálculo de la fuerza de torque de un servo en función de la posición y el ángulo de la fuerza

A continuación se muestra esto con más detenimiento ilustrando el concepto en la siguiente figura.

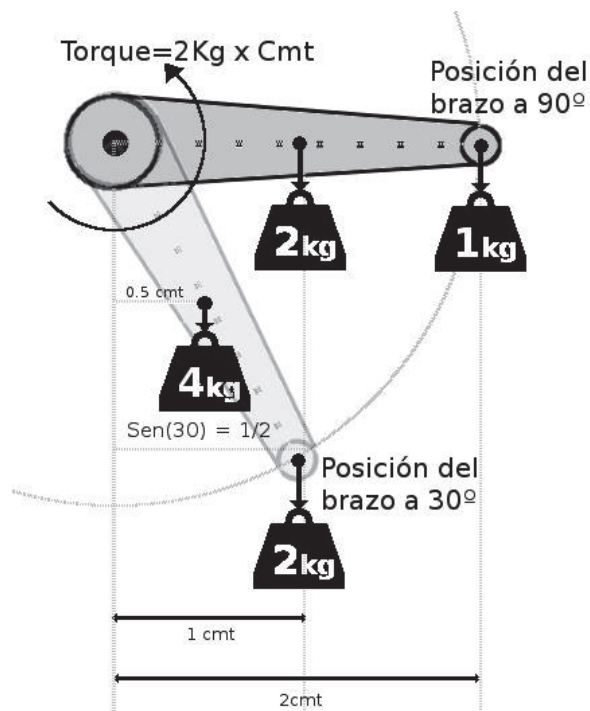


Figura 64 – Fuerza de torque de un servo en función de la posición y el ángulo de la fuerza (Snurmacher, 2019).

En la figura 64 se puede observar cómo varía el torque de un servo según la posición y el ángulo de la fuerza.

Sabiendo que el servomotor tiene un torque de 2 kg*cm, se puede colocar una pesa de 1 kg a 2 centímetros de distancia como máximo (sería una situación límite), esto significa que el brazo se podrá elevar hasta cualquier posición con ese peso teniendo en cuenta que tendrá que hacer la fuerza justa para llegar a los 90°.

Se puede observar en la imagen que cuanto menos distancia exista entre el peso y el eje de giro mayor carga de peso podrá soportar.

Si se quisiera poner un peso de 2 kg en el extremo del brazo sólo podría elevarse hasta una posición de 30° ya que el seno (30°) = 1/2.

Para que se entienda mejor se va a calcular el torque para poder mover el brazo hasta una posición de 60° con 2 kg en el extremo:

$$2 \text{ kg} * 2 \text{ cm} * \text{sen} (60^\circ) = 3.464 \text{ kg*cm}$$

La siguiente ecuación [2] expone el cálculo que se debe realizar para averiguar la masa máxima que podemos colgar del brazo según el torque que disponga el servomotor, o por el contrario la distancia a la que se debe poner siendo la masa conocida:

$$\Sigma \text{Torque (kg*cm)} = \Sigma [\text{Masa (kg)} + \text{Distancia (cm)}] [1]$$

A.4. Bases de cálculo

A.4.1 Zona de apoyo más desfavorable del reposapiés

El reposapiés está pensado para que su movimiento de balanceo comience con la superficie de apoyo en posición horizontal, para luego bajar y subir la zona del talón repetidamente. Además, cabe destacar que cuando una persona sentada apoya los pies, deposita más peso en la zona del talón que en la zona delantera del pie.

Por tanto, la principal carga que los servomotores deben ser capaces de contrarrestar es la fuerza ejercida por el talón sobre la superficie de apoyo.

Dicho lo cual, resulta obvio que, cuanto más próximo al extremo se apoye el talón, mayor será el torque que deberá realizar el servo para realizar el balanceo.

A.4.2 Definición de cargas

Cuando apoyamos el pie sobre una superficie, el peso recae principalmente sobre dos zonas de apoyo: el talón y la almohadilla delantera. Por tanto, para realizar este estudio, se va a dividir el peso en dos cargas puntuales, situadas en el centro de cada una de dichas zonas de apoyo, tal y como puede verse en la siguiente figura:



Figura 65 – Esquema de cargas puntuales (elaboración propia)

Nota: De ahora en adelante, nos referiremos a estas cargas como ‘carga-talón’ y ‘carga-almohadilla’.

Como se ha explicado en el apartado anterior, la situación más crítica es cuando el talón se apoya lo más próximo al extremo de la superficie de apoyo. Esto, atendiendo a las medidas generales del pie de una persona, significa que la carga-talón queda situada a una distancia de 3-4cm del dicho extremo, por lo que se va a considerar dicha distancia como 3cm, al ser más desfavorable.

Asimismo, se sabe que los servomotores están instalados en la parte central del reposapiés a 18 cm del extremo, como se puede observar en la siguiente figura.

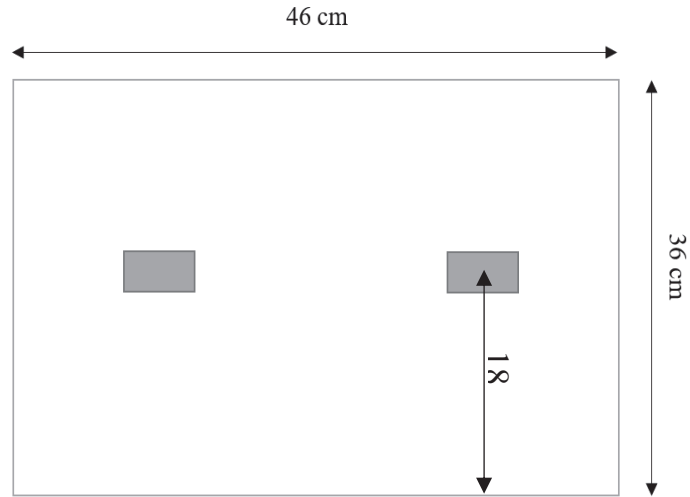


Figura 66 – Esquema de posición del servomotor (elaboración propia)

Por ende, carga-talón quedaría situada a 15cm del eje de giro del reposapiés.

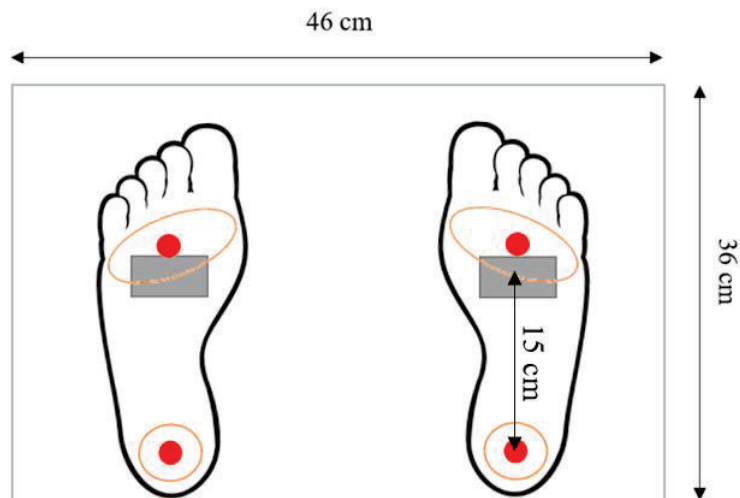


Figura 67 – Esquema de posición de la carga-talón (elaboración propia)

En cuanto a la carga-almohadilla, la posición de ésta dependerá del tamaño del pie de la persona.

A.4.3 Comparación de la longitud de un pie según su tallaje

Cuando hablamos del tamaño del pie de una persona, normalmente nos referimos a él como la talla del pie. Este tallaje, suele ir desde la talla 36 hasta la talla 47

para personas adultas. A continuación, se muestra una tabla (tabla 2) donde puede verse la longitud del pie en centímetros en función de la talla de este.

Talla	cm	Talla	cm	Talla	cm
36	22.9	40	25.4	44	28
37	23.8	41	26.3	45	28.9
38	24.3	42	26.6	46	29.3
39	25.1	43	27.6	47	30.1

Tabla 3 – Tallaje del pie en centímetros

Cabe destacar que, atendiendo a las medidas generales del pie, la zona de los dedos supone una longitud de 4-6 cm, por lo que se va a tomar el valor medio de 5 cm.

Si miramos en la tabla el tamaño del pie para una talla 36, normalmente la más pequeña, vemos que su longitud es de 22,9 cm, es decir, prácticamente 23 cm.

Por tanto, si la longitud de los dedos es de 5 cm y la longitud resto del talón, tal y como se ha explicado en el apartado anterior, es de 3cm, nos queda que para la talla 36 la distancia entre carga-talón y carga-almohadilla es de 15 cm. Esto supone que la carga almohadilla se sitúa justo en el eje de giro del reposapiés, no afectando por ende al torque *de este*.

Asimismo, resulta evidente que, para pies de mayor tamaño, la carga-almohadilla se va a situar al otro lado del eje de giro, resultando así un torque en sentido contrario al ejercido por la carga-talón.

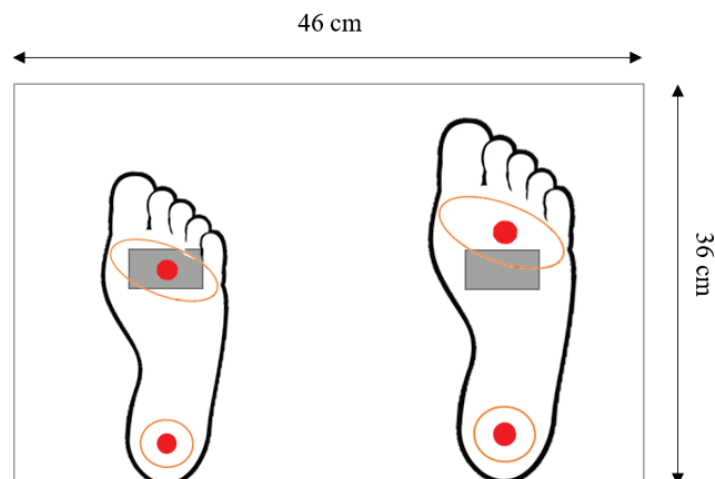


Figura 68 – Esquema de comparación de longitud del pie según su tallaje (elaboración propia)

En consecuencia, para un mismo peso de la persona, cuanto más pequeño sea el pie, mayor será el torque que debe ejercer el servomotor para realizar el balanceo, siendo para la talla 36 el caso más desfavorable.

A.5. Hipótesis de carga

A.5.1 Caso de uso normal

Para realizar los cálculos se van a coger valores medios de una persona adulta, estos datos son los siguientes:

- Peso medio: 77.5 kg
- Talla del pie: 42 (26.6 cm)

Además, como se ha dicho antes, normalmente se apoya más carga en el talón que en la almohadilla del pie, por lo que se va a suponer que la carga-talón es de un 60% del peso del pie y la carga-almohadilla de un 40%.

Para un caso de uso normal los pies se colocan aproximadamente en la zona central del reposapiés, por lo que se va a considerar que el centro del pie apoya justo sobre el eje de giro del servo.

Se comprueba que para un pie de la talla 42, la distancia desde el centro del pie hasta la carga-talón es de 11.6 cm y la distancia desde el centro del pie hasta la carga-almohadilla es de 7 cm.

Cabe destacar que cada servomotor aguanta el peso de un pie, por tanto, para simplificar los cálculos se va a estudiar únicamente el peso de un pie y el torque de un servomotor.

De esta manera, los cálculos son los siguientes:

1. Se calcula el peso de los pies:

$$77.500 \text{ kg} * (19 / 100) = 14.725 \text{ kg}$$

2. Se le suma el peso de los zapatos y se calcula el peso de un sólo pie:

$$(14.725 \text{ kg} + 1.400 \text{ kg}) / 2 = 8.063 \text{ kg}$$

3. Se calculan la carga-talón y la carga-almohadilla:

$$8.063 \text{ kg} * (60 / 100) = 4.838 \text{ kg}$$

$$8.063 \text{ kg} * (40 / 100) = 3.225 \text{ kg}$$

4. Por último, se realiza el sumatorio de momentos conforme a la ecuación [1] para calcular el torque necesario que debe tener el servomotor:

$$\Sigma \text{Torque} = (4.838 \text{ kg} * 11.6 \text{ cm}) - (3.225 * 7 \text{ cm}) = 33.546 \text{ kg*cm}$$

Se comprueba por tanto que el servo que se ha instalado en el prototipo es insuficiente, ya que este tiene 20 kg*cm de torque y para una persona adulta de peso medio se necesitaría un servo de 33.546 kg*cm como mínimo para realizar el balanceo.

A.5.2 Caso de uso más desfavorable

Ahora que ya sabemos que para el producto final se necesita instalar unos servomotores más potentes, se va a calcular el caso de uso con las condiciones más desfavorables para así obtener el torque mínimo que deben tener los servos de cara a cumplir su función de balanceo en todas las circunstancias.

Para ello, tal y como se ha explicado en las bases de cálculo, se considera que la combinación más desfavorable es unos pies de la talla 36 colocados con el talón al filo de la superficie de apoyo, tal y como se representa en la figura 69.

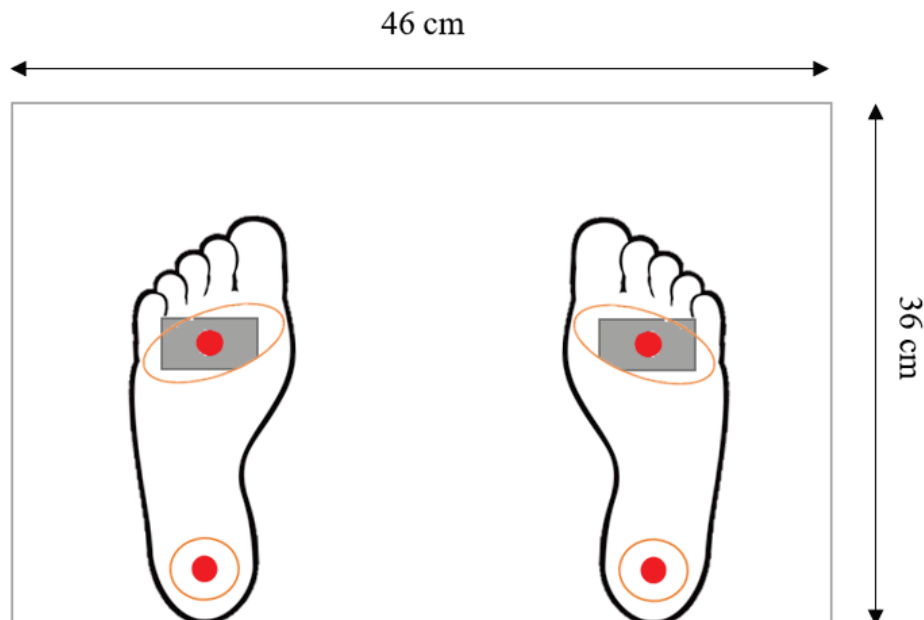


Figura 69 – Esquema disposición de los pies para caso desfavorable (elaboración propia)

Asimismo se aumentará el peso de la persona hasta un máximo de 120 kg y se considerará que se apoya todavía más peso en el talón, concretamente la distribución de peso será de 70% la carga-talón y 30% en la carga almohadilla.

Como se explicó en el apartado A.4.3 se comprueba que para un pie de la talla 36 sólo afecta la carga-talón, quedando esta a 15 cm respecto del eje de giro.

Al igual que antes, se estima que cada servomotor aguanta el peso de un pie, por tanto, para simplificar los cálculos se va a estudiar únicamente el peso de un pie y el torque que deberá tener un servomotor.

De esta manera, los cálculos son los siguientes:

1. Se calcula el peso de los pies:

$$120 \text{ kg} * (19 / 100) = 22.800 \text{ kg}$$

2. Se le suma el peso de los zapatos y se calcula el peso de un sólo pie:

$$(22.800 \text{ kg} + 1.400 \text{ kg}) / 2 = 12.100 \text{ kg}$$

3. Se calculan la carga-talón y la carga-almohadilla:

$$12.100 \text{ kg} * (70 / 100) = 8.470 \text{ kg}$$

$$12.100 \text{ kg} * (30 / 100) = 3.630 \text{ kg}$$

4. Por último, se realiza el sumatorio de momentos conforme a la ecuación [1] para calcular el torque necesario que debe tener el servomotor:

$$\Sigma \text{Torque} = (8.470 \text{ kg} * 15 \text{ cm}) - (3.630 \text{ kg} * 0 \text{ cm}) = 127.050 \text{ kg*cm}$$

Se comprueba que el torque mínimo que debe tener cada servomotor es de 127.050 kg*cm para que el reposapiés realice el balanceo sin problema.

Por tanto, de los servomotores disponibles en el mercado, el inmediatamente superior a este torque es de 150 kg*cm, por lo que ese será el elegido para el producto final.

Como el dispositivo final tiene dos servomotores, el par motor máximo del reposapiés será de 300 kg*cm, lo que nos deja un margen respecto a la hipótesis más desfavorable de unos 45 kg*cm. Esto significa que en el peor de los casos los servomotores trabajarán a un 85% de su potencia máxima.

B. Códigos de programación en Arduino

A continuación se muestran los códigos de programación que se han desarrollado en Arduino.

Código de programación para configurar el Wi-Fi de los microcontroladores, denominado mac_00:

```
#include "WiFi.h"

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  WiFi.mode(WIFI_MODE_STA);
  Serial.println(WiFi.macAddress());
}

void loop() {
}
```

Código de programación correspondiente al código-emisor:

```
#include <esp_now.h>
#include <WiFi.h>

//Librería RGB leds
#include <Adafruit_NeoPixel.h>
#ifdef __AVR__
#include <avr/power.h>
#endif

#define PIN          0
#define NUMPIXELS 6 // Número total de leds
Adafruit_NeoPixel pixels(NUMPIXELS, PIN, NEO_GRB + NEO_KHZ800);
// _____RGB_____

const int buttonPin = 25; // Conexión del botón 1 con ESP323
const int buttonPin1 = 26; // Conexión del botón 2 con ESP323
int buttonState = 0;
int buttonState1 = 0;
int menu = 1;
int menu1 = 1;

int angulo = 0;
```



```
// Reemplazar por dirección MAC del micro receptor
uint8_t broadcastAddress[] = {0x7C, 0x9E, 0xBD, 0x65, 0xE1, 0xD0};
// Debe coincidir con la estructura del receptor
typedef struct struct_message {
    int angulo_01;
    int periodo_01;
} struct_message;
// Crear un struct_message llamado myData
struct_message myData;

esp_now_peer_info_t peerInfo;
// Devolver cuando se envíen los datos
void onDataSent(const uint8_t *mac_addr, esp_now_send_status_t status) {
    Serial.print("\r\nLast Packet Send Status:\t");
    Serial.println(status == ESP_NOW_SEND_SUCCESS ? "Delivery Success" : "Delivery Fail");
}

void loop() {
    ver_serial();
    boton();
    //Enviar info vía ESP-NOW
    esp_err_t result = esp_now_send(broadcastAddress, (uint8_t *) &myData, sizeof(myData));

    if (result == ESP_OK) {
        Serial.println("Sent with success");
    }
    else {
        Serial.println("Error sending the data");
    }
    delay(2000);
}
```

Código de programación para configurar los botones:

```
void boton(){

    buttonState = digitalRead(buttonPin); //Leer el estado del pulsador
    buttonState1 = digitalRead(buttonPin1);

    if (buttonState == HIGH) {
        Serial.println("Pulsado");
        menu = menu + 1;
        if(menu == 4) menu = 1;
        delay(200);
    }

    if (buttonState1 == HIGH) {
        Serial.println("Pulsado1");
        menu1 = menu1 + 1;
        if(menu1 == 4) menu1 = 1;
        delay(200);
    }

    if (menu == 1) menu_01();
    if (menu == 2) menu_02();
    if (menu == 3) menu_03();

    if (menu1 == 1) menu_04();
    if (menu1 == 2) menu_05();
    if (menu1 == 3) menu_06();
}
```

Cada botón tiene asignado un menú:

```
void menu_01() { // 5 grados val =0

    pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(250, 0, 0));
    pixels.setPixelColor(1, pixels.Color(0, 0, 0));
    pixels.setPixelColor(2, pixels.Color(0, 0, 0));
    pixels.show();
    myData.angulo_01=0;

}
```

Por último se muestra la configuración correspondiente al código-emisor:

```
void setup() {
    // Inicia Serial Monitor
    Serial.begin(115200);

    pinMode(buttonPin, INPUT);
    pinMode(buttonPin1, INPUT);
    pixels.begin(); //Inicializar NEOPIXEL

    //Configurar el dispositivo como estación Wi-Fi
    WiFi.mode(WIFI_STA);

    // Inici ESP-NOW
    if (esp_now_init() != ESP_OK) {
        Serial.println("Error initializing ESP-NOW");
        return;
    }

    //Cuando ESPNow se inicia con éxito enviar dato
    esp_now_register_send_cb(OnDataSent);

    //Registrar pares
    memcpy(peerInfo.peer_addr, broadcastAddress, 6);
    peerInfo.channel = 0;
    peerInfo.encrypt = false;

    //Sumar pares
    if (esp_now_add_peer(&peerInfo) != ESP_OK) {
        Serial.println("Failed to add peer");
        return;
    }
}
```

Código de programación correspondiente al código-receptor:

```
//Código receptor
#include <ESP32_Servo.h>
#include <esp_now.h>
#include <WiFi.h>
#include <HX711_ADC.h>

typedef struct struct_message { // Datos de NOW
    int angulo_01;
    int periodo_01;
} struct_message;

// Crear una estructura llamada myData
struct_message myData;

Servo myservo; //Crear objeto servo para controlar un servo

int servoPin = 2; //Conexión servo al micro ESP32
int val = 0; //Variable para leer el valor del pin analógico

int grado_final;
int grado_temp = 0;
int ida_vuelta = 0;

//Conexiones célula de carga con ESP32:
const int HX711_dout = 4;
const int HX711_sck = 5;

HX711_ADC LoadCell(HX711_dout, HX711_sck);

const int calVal_eepromAdress = 0;
unsigned long t = 0;

unsigned long retardo = 0;
unsigned long time_00 = 0;

void OnDataRecv(const uint8_t * mac, const uint8_t *incomingData, int len) {
    memcpy(&myData, incomingData, sizeof(myData));

    Serial.print("angulo_01: ");
    Serial.println(myData.angulo_01);

    Serial.print("periodo_01: ");
    Serial.println(myData.periodo_01);

    Serial.println();
}
```



```
void loop() {

    float peso=leer_celula();

    if (peso>0.2){
        grado_final=0;
        int grado = map(grado_final,0,270,500, 2500);
        myservo.write(grado);
        while(1) {
            grado_final=0;
            int grado = map(grado_final,0,270,500, 2500);
            myservo.write(grado);
            Serial.print("Parada de emergencia \n"); //parada de emergencia
        }
    }

    ver_serial();
    val = myData.angulo_01;
    retardo= myData.periodo_01;

    if (val==0){ // 5 grados
        if(grado_final != grado_temp) paso();
        if(grado_final == grado_temp) {
            if (grado_final == 0) grado_final = 5;
            else grado_final = 0;
        }
    }

    if (val==1){ //10 grados
        if(grado_final != grado_temp) paso();
        if(grado_final == grado_temp) {
            if (grado_final == 0) grado_final = 10;
            else grado_final = 0;
        }
    }

    if (val==2){ //15 grados
        if(grado_final != grado_temp) paso();
        if(grado_final == grado_temp) {
            if (grado_final == 0) grado_final = 15;
            else grado_final = 0;
        }
    }
    // imprime();
}
```

Código de programación correspondiente a la lectura del peso de las células de carga:

```
float leer_celula() {
    static boolean newDataReady = 0;
    const int serialPrintInterval = 0;
    float i=0;

    //Buscar nuevos datos/iniciar conversión:
    if (LoadCell.update()) newDataReady = true;

    if (newDataReady) {
        if (millis() > t + serialPrintInterval) {
            i = LoadCell.getData();
            newDataReady = 0;
            t = millis();
        }
    }

    // Calibrar peso
    if (Serial.available() > 0) {
        char inByte = Serial.read();
        if (inByte == 't') LoadCell.tareNoDelay();
    }

    //Comprobar si se ha completado la última operación
    if (LoadCell.getTareStatus() == true) {
        Serial.println("Tare complete");
    }
    return i;
}
```

Las funciones que debe cumplir el reposapiés para conseguir el movimiento de balanceo:

```
void paso() {  
  
    if(millis() > time_00 + retardo){  
        if (grado_final > grado_temp) {  
            grado_temp = grado_temp + 1;  
            int grado = map(grado_temp, 0, 270, 500, 2500);  
            myservo.write(grado);  
        }  
  
        if (grado_final < grado_temp) {  
            grado_temp = grado_temp - 1;  
            int grado = map(grado_temp, 0, 270, 500, 2500);  
            myservo.write(grado);  
        }  
        time_00 = millis();  
    }  
}
```

Código de programación serial:

```
void ver_serial() {  
    if (Serial.available() > 0)  
    {  
        String str = Serial.readStringUntil('\n');  
        retardo = str.toInt();  
        //float data = str.toFloat();  
        // Serial.println(val);  
    }  
  
}
```


Por último se muestra la configuración correspondiente al código-receptor:

```
void setup(){

myservo.attach(servoPin,500, 2500);// uso min/max desde 500us a 2400us

  Serial.begin(115200); delay(10);
  Serial.println();
  Serial.println("Iniciando...");

//Calibración células de carga
LoadCell.begin();
float calibrationValue;
calibrationValue = 20348.34; //Vaolr de calibración

unsigned long stabilizingtime = 2000;
boolean _tare = true; //Falso si no desea que se realice la tara en el siguiente paso
LoadCell.start(stabilizingtime, _tare);
if (LoadCell.getTareTimeoutFlag() {
  Serial.println("Tiempo de espera, verifique el cableado MCU>HX711 y las designaciones de pines");
  while (1);
}
else {
  LoadCell.setCalFactor(calibrationValue); // establecer el valor de calibración (flotante)
  Serial.println("El inicio se ha completado");
}
//Fin calibración

//Configurar dispositivo como estación Wi-Fi
WiFi.mode(WIFI_STA);

//Inciar ESP-NOW
if (esp_now_init() != ESP_OK) {
  Serial.println("Error initializing ESP-NOW");
  return;
}

//Cuando ESPNow se inicia con éxito, nos registramos
//para recibir info
esp_now_register_recv_cb(OnDataRecv);

}
```

C. Estudio de mercado

Hay una gran variedad de modelos de reposapiés, en este anexo se van a mostrar los tipos que existen actualmente en el mercado, para así recalcar las ventajas y desventajas que tiene el prototipo que se ha fabricado respecto a los existentes.

En primer lugar se van a exponer los diferentes tipos de reposapiés, estos son los siguientes:

- **Antideslizantes:** son los que permiten que tus pies no se muevan del reposapiés mediante una superficie rugosa, algunos de ellos llegan a ejercer un efecto masaje o incluso le añaden unos rodillos para que cumpla esta función. Los que se utilizan como efecto masaje se suelen utilizar sin zapatos.
- **Decorativos:** suelen utilizarse en lugares con atención al público o bien para casa. Normalmente, están tapizados y en estos destaca más la apariencia que la efectividad.
- **Para oficina:** suelen ser poco estéticos y voluminosos pero su objetivo es cumplir con su función que es mejorar el bienestar del trabajador.
- **Térmicos:** transmiten calor y son de gran confort, se recomienda utilizarlos sin los zapatos puestos para que su uso sea más agradable.
- **Estáticos:** ni se mueven ni tienen capacidad de adaptación.
- **Movibles:** aquellos que se pueden adaptar a las necesidades de la persona adaptando ángulo de inclinación y altura.
- **Basculantes:** además de ser ajustables en inclinación y altura, en cada posición la base es basculante, como los pies de las máquinas de coser donde el usuario es quién realiza dicho movimiento de balanceo. Hay algunos de este tipo que tienen la peculiaridad de contar con un diseño de pierna izquierda y derecha por separado. También pueden fijarse en una posición para que no se balancee.

A continuación, se van a presentar los pros y contras que tiene el prototipo que se ha fabricado respecto a los modelos existentes.

El prototipo es antideslizante ya que tiene una superficie rugosa pero no se puede utilizar como efecto masaje porque se ha fabricado con una chapa lagrimada de aluminio, esta va atornillada a los servos por lo que el usuario podría dañarse si lo usara sin calzado.

Asimismo al ser una chapa de aluminio, le da robustez y estabilidad al prototipo, no está fabricado para ser decorativo pero sí para cumplir con su función principal.

Una de las desventajas es que no tiene efecto térmico debido a los materiales que se han utilizado, se buscaba otro objetivo, el balanceo automatizado. Por ello se ha diseñado el reposapiés para que realice este movimiento sin que nadie realice ningún esfuerzo físico como se realiza en los reposapiés basculantes.

Además, es ajustable en inclinación, altura y velocidad de trabajo, todo ello está controlado a través de un mando a distancia para que el usuario no tenga que moverse de su posición para cambiarlo como pasa con los modelos movibles. Al tener un movimiento automático, cuenta con un sistema de emergencia para evitar atrapamientos.

Por último, cabe destacar que se ha hecho con una superficie entera, es decir, que no está dividida en izquierda y derecha. Se ha elaborado así porque hace que el reposapiés sea más estable.

D. Ficha técnica

FICHA TÉCNICA		 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	
Dispositivo: Reposapiés automatizado					
Realizado por: Paula María Fernández Villalobos			Fecha: 13/01/2023		
Fabricado por		Paula María Fernández Villalobos			
Lugar de elaboración		Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Málaga			
Medidas nominales		Ancho: 460 mm		Fondo: 360 mm	
		Alto: 105mm			
Peso		3,600 kg			
Descripción del producto					
		<p>El reposapiés automatizado tiene como objetivo la flexión y extensión de piés y piernas para mejorar la circulación sanguínea. Este cuenta con tres posiciones diferentes de inclinación y trabaja a tres velocidades diferentes. El reposapiés esta controlado por un mando a distancia recargable.</p>			
Características del producto		Inclinación regulable: 0° - 15° Tres velocidades de trabajo Controlado por mando a distancia recargable Zona de apoyo antideslizante			

E. Manual para el usuario

Este manual tiene como objetivo facilitar al usuario el manejo del reposapiés automatizado y su mando a distancia.

Manejo del reposapiés automatizado

- Conecte el dispositivo a la red eléctrica.
- Si quiere utilizar el reposapiés sin que se mueva debe tener el interruptor lateral apagado.
- Si quiere encender el dispositivo enciéndalo a través del interruptor lateral.
- Cuenta con un sistema de emergencia anti-atrapamiento, si se activa este, el reposapiés se paraliza por completo. Para que vuelva a funcionar de manera normal reinícielo a través del interruptor lateral o desconectando y conectando de nuevo a la red eléctrica.

Manejo del mando a distancia

- Encienda el mando a distancia con el interruptor negro.
- Si el mando no se enciende, significa que debe cargar el mando con un cargador tipo U.
- El mando consta de dos botones:
 - El botón “T”: para cambiar la inclinación de uso pulse este botón una vez, así sucesivamente hasta que llegue a la inclinación deseada. Cada inclinación se corresponde con una señal lumínica roja para que sepa en qué posición se encuentra cada vez que pulsa el botón.
 - El botón “V”: para cambiar la velocidad de balanceo pulse este botón, así sucesivamente hasta que llegue a la velocidad de balanceo. Tiene 3 velocidades de uso, cada una se corresponde con una señal lumínica roja para que sepa a qué velocidad se encuentra cada vez que pulsa el botón.