

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**

**FACULTAD DE MEDICINA**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**GRADO EN FISIOTERAPIA**



**Análisis de requerimientos para el diseño de un dispositivo para el  
tratamiento del equilibrio. TFG interdisciplinar.**

AUTOR: Serrano Serrano, Beatriz

TUTOR: Lillo Navarro, María del Carmen.

Curso académico: 2023-2024

Convocatoria de junio.

Departamento: Patología y cirugía



Este TFG ha sido elaborado en la modalidad de Trabajo Fin de Grado interdisciplinar (TFGi).

Este modelo de TFG nace de un programa de innovación docente de la Universidad Miguel Hernández, realizándose de manera colaborativa, dentro de un equipo integrado por estudiantes y tutores de diferentes titulaciones, con el fin de establecer relaciones de cooperación y trabajo en equipo entre las distintas disciplinas, mediante un abordaje interdisciplinar de problemas reales que además, pueden ser propuestos por empresas, organizaciones o asociaciones.

El objetivo principal de este proyecto es proporcionar información minuciosa acerca de las tareas realizadas por el estudiante en cuestión, así como los detalles necesarios y resumidos aportados por los compañeros con los que se ha trabajado de manera complementaria, para la correcta comprensión de todos los aspectos que afectan a la resolución de la necesidad que se había planteado como base de trabajo.

En este TFG interdisciplinar, han colaborado estudiantado y profesorado de los grados de Fisioterapia e Ingeniería Mecánica respectivamente. Los contenidos con respecto a Ingeniería Mecánica, han sido desarrollados por la estudiante Pilar Lucía Álvarez Araujo, tutorizada por D. David Abellán López, mientras que los contenidos en relación al ámbito de Fisioterapia, han sido elaborados por la estudiante Beatriz Serrano Serrano, tutorizada por D.<sup>a</sup> María del Carmen Lillo Navarro, quien también interviene como coordinadora de este TFG interdisciplinar.

En este estudio se han usado distintas imágenes. Algunas son de autoría propia, otras han sido realizadas por la estudiante de ingeniería mecánica y otras han sido extraídas de páginas webs, que incluyen citas de sus fuentes y ayudan a la mejor comprensión de los contenidos reflejados en este trabajo.



## ÍNDICE

1. Introducción
  1. Definición
  2. Desarrollo del equilibrio
  3. Afectación del equilibrio
  4. Pérdida fisiológica del equilibrio debido a la edad
  5. Tratamiento fisioterápico del equilibrio
  6. Dispositivos para el tratamiento del equilibrio
    1. En bipedestación, sedestación y supino
    2. Ventajas del uso de dispositivos
    3. Inconvenientes del uso de dispositivos
  7. Justificación
2. Objetivos
  1. Objetivo general
  2. Objetivos específicos
  3. Objetivos de desarrollo sostenible
  4. Pregunta de investigación
3. Metodología
  1. Realización de búsquedas bibliográficas
    1. Estrategia de búsqueda
  2. Establecimiento de requisitos del dispositivo
  3. Elaboración de documentos explicativos
  4. Realización de reuniones de feedback
4. Resultados
  1. Resultados de las búsquedas bibliográficas
  2. Descripción de los dispositivos actuales
    1. Dispositivos para trabajar el equilibrio en sedestación
    2. Dispositivos para trabajar el equilibrio en bipedestación
    3. Dispositivos para trabajar el equilibrio en decúbito supino
    4. Dispositivos para trabajar el equilibrio en varias posturas
  3. Elaboración de documentos explicativos
  4. Realización de reuniones de feedback
  5. Características del dispositivo
    1. Detalles de ajuste del dispositivo
    2. Dimensiones del dispositivo
    3. Accesorios del dispositivo
    4. Coste del dispositivo

5. Discusión
  1. Limitaciones
  2. Ideas de futuro
6. Conclusiones
7. Bibliografía

## **ANEXOS**

- Anexo 1. Objetivos de desarrollo sostenible a los que se dirige el TFGi
- Anexo 2. . Informe de evaluación de investigación responsable de TFG.
- Anexo 3. Resultados de las mediciones de equilibrio.
- Anexo 4. Ideas iniciales sobre las necesidades del dispositivo.
- Anexo 5. Características iniciales del dispositivo.
- Anexo 6. Formas de trabajo según la posición del individuo.
- Anexo 7. Contenido de las reuniones.
- Anexo 8. Coste del dispositivo.



## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Diagrama sobre metodología de trabajo interdisciplinar.

**Figura 2.** Esquema sobre las distintas búsquedas bibliográficas tanto en Pubmed como Scopus.

**Figura 3.** Requisitos básicos que debe tener el nuevo dispositivo.

**Figura 4.** Diagrama de flujo sobre las búsquedas bibliográficas.

**Figura 5.** 5. A Boceto del dispositivo para trabajar en bipedestación. 5. B Boceto del dispositivo para trabajar en sedestación.

**Figura 6.** Imagen de los componentes internos del mecanismo oscilador del dispositivo.



## **8. ÍNDICE DE TABLAS**

**Tabla 1.** Dispositivos para el equilibrio en sedestación.

**Tabla 2.** Dispositivos para el equilibrio en bipedestación.

**Tabla 3.** Dispositivos para el equilibrio en decúbito supino.

**Tabla 4.** Dispositivos para el equilibrio tanto en bipedestación como en sedestación.

**Tabla 5.** Componentes del mecanismo interno d dispositivo.

**Tabla 6.** Accesorios del dispositivo para el trabajo en bipedestación.

**Tabla 7.** Accesorios del dispositivo para el trabajo en sedestación.



## RESUMEN

**Introducción:** El equilibrio es una capacidad fundamental para el control del movimiento y la posición del cuerpo, por lo que es frecuente encontrar alteraciones del mismo tanto de manera primaria como secundaria, así como de manera fisiológica. Desde la fisioterapia se plantean diferentes estrategias para el entrenamiento de esta función, entre ellas, el uso de dispositivos con diferentes grados de complejidad.

**Objetivos:** Analizar las características de los dispositivos actuales para el trabajo del equilibrio, sus ventajas y desventajas a fin de definir las características necesarias para el diseño de un prototipo de un nuevo dispositivo, mediante estrategias de colaboración entre estudiantes y profesores de ingeniería mecánica y fisioterapia.

**Metodología:** 1) Búsquedas bibliográficas, para extraer la información sobre los dispositivos actuales: características, ventajas y desventajas; 2) Elaboración de documentos explicativos; 3) Realización de reuniones de feedback; 4) Definición de especificaciones para la creación de un dispositivo; 5) Colaboración interdisciplinar.

**Resultados:** Los dispositivos para el tratamiento del equilibrio actuales tienen inconvenientes como el precio elevado, la poca especificidad, falta de versatilidad y dificultad en el uso. El dispositivo diseñado será universal, versátil, accesible económicamente y fácil de usar. Constará de una plataforma central oscilante, sobre la que se irán colocando diferentes accesorios que permitirán el trabajo del equilibrio en bipedestación y sedestación en diferentes tipos de pacientes.

**Conclusiones:** Este trabajo aporta información sobre las características de los dispositivos actuales, sus ventajas e inconvenientes, y las características y componentes de un dispositivo nuevo para trabajar el equilibrio en sedestación y bipedestación.

**Palabras claves:** Equilibrio, dispositivo, tratamiento, sedestación, bipedestación.

## **ABSTRACT**

**Introduction:** Balance is a fundamental ability to control the movement and position of the body, so it is common to find alterations in it both primary and secondary, as well as physiologically. Physiotherapy proposes different strategies for training this function, including the use of devices with different degrees of complexity.

**Objectives:** Analyze the characteristics of current devices for balance work, their advantages and disadvantages in order to define the necessary characteristics for the design of a prototype of a new device, through collaboration strategies between students and teachers of mechanical engineering and physiotherapy.

**Methodology:** 1) Literature searches, to extract information about current devices: characteristics, advantages and disadvantages; 2) Preparation of explanatory documents; 3) Conducting feedback meetings; 4) Definition of specifications for the creation of a device; 5) Interdisciplinary collaboration

**Results:** Current balance treatment devices have problems such as high Price, poor specificity, lack of versatility and difficulty in use. The designed device will be universal, versatile, affordable and easy to use. It will consist of a central oscillating platform, on which different accessories will be placed that will allow balance work in standing and sitting position in different kind of patients.

**Conclusions:** This document provides information on the characteristics of current devices, their advantages and disadvantages, and the characteristics and components of a new device to work on balance and sitting and standing position.

**Keywords:** Balance, device, treatment, sitting, standing.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Definición**

El equilibrio es el resultado de la interacción entre el sistema musculoesquelético y el sistema nervioso central, donde se integra la información de los sistemas encargados de la propiocepción: vestibular, somatosensorial y visual (1), que actúan con el fin de controlar el movimiento y la posición del cuerpo, mediante la activación muscular adecuada y necesaria en cada momento. Estos sistemas trabajan al unísono y están influenciados por factores como la edad, sexo, medidas antropométricas, colocación de los pies, actividad física o el estado de salud. (2–12)

Se pueden diferenciar distintos tipos de equilibrio: *estático*, es decir, la capacidad de mantener la posición inalterable de manera constante; *dinámico*, la capacidad de mantener la posición estable durante la actividad, por ejemplo, andar; *proactivo*, definido como la capacidad de mantener la posición estable ante movimientos que están previstos; y *reactivo*, que es la capacidad para mantener la posición estable ante perturbaciones no previstas. (13)

### **1.2 Desarrollo del equilibrio**

El equilibrio es una capacidad imprescindible para la consecución de los hitos del desarrollo, pues es necesario que el individuo posea un adecuado control de tronco, incluso antes de adquirir la posición sentada. (14) Los primeros indicios de control de tronco aparecen entre los 4 y 6 meses, tras la consecución del control de la cabeza (4), que se produce por reclutamiento muscular progresivo (15). A medida que el bebé crece, el control de tronco activo se consolida, permitiéndoles desarrollar otras habilidades motoras como la sedestación con manos libres y, posteriormente, la deambulación, que precisan de un equilibrio óptimo para poderse llevar a cabo. (16)

### **1.3 Afectación del equilibrio**

Los desórdenes tanto en morfología como en integración de los sistemas anteriormente descritos generarán alteraciones potenciales del equilibrio. A nivel infantil, el equilibrio se puede afectar en múltiples patologías y condiciones, que alteran el desarrollo, lo cual impide la respuesta adecuada a las demandas del entorno, dificultando en la mayoría de los casos la participación en el juego infantil, el aprendizaje o las actividades de la vida diaria (17). Alguna de las condiciones infantiles más comunes en que se suele afectar el equilibrio son la parálisis cerebral (18), el síndrome alcohólico fetal (19), el síndrome de Down (20), o la escoliosis (21) entre otras.

En patologías propias de la edad adulta, es frecuente encontrar alteraciones del equilibrio primarias, principalmente en los trastornos neurológicos como el ictus (22), las polineuropatías o la enfermedad

de Parkinson (13). Otras patologías también pueden producir alteraciones del equilibrio de forma secundaria, como los trastornos musculoesqueléticos, donde el dolor está muy presente. Además, de las compensaciones biomecánicas que se realizan en presencia de dolor, que pueden alterar la postura y el equilibrio. Se ha demostrado que el dolor, inhibe las aferencias musculares (23) y afecta a la modulación de los husos neuromusculares (24), provocando que disminuya el control motor y a consecuencia, el equilibrio (25).

Cabe destacar las alteraciones del equilibrio en individuos con amputaciones, pues la falta de un miembro implica la necesidad de crear nuevos patrones de movimiento, para poder mantener la verticalidad (26). También encontramos posibles afectaciones del equilibrio y el control postural en patologías de carácter insidioso, como el cáncer de mama como efecto secundario, pues tras el tratamiento de quimioterapia pueden surgir alteraciones de la propiocepción, asociadas a alteraciones de la marcha y el equilibrio (27), o también en patologías traumáticas, como el latigazo cervical, donde se pueden ver alteradas las estructuras neurootológicas, la musculatura, así como el sistema propioceptivo cervical (28), entre otras.

#### **1.4 Pérdida fisiológica del equilibrio debido a la edad.**

El equilibrio, no solo se ve afectado debido a procesos patológicos, sino que el proceso natural del envejecimiento también genera cambios negativos fisiológicos en las células del organismo provocando que, con el paso del tiempo, los individuos vean mermadas sus capacidades funcionales, afectando entre ellas, al equilibrio (29), lo cual, puede repercutir en su salud aumentando considerablemente el riesgo de caídas.

Los cambios más reseñables en relación al equilibrio y la edad, se deben principalmente a la disminución de la cantidad de neuronas tanto motoras como sensoriales (30–32), cambios en la localización del centro de gravedad, y aumento del balanceo corporal en posturas tanto monopodales como bipodales (33–35). Así mismo, las mujeres menopáusicas sufren un déficit de estrógenos que provoca una disminución de la masa y función muscular (36), produciendo alteraciones en el equilibrio.

#### **1.5 Tratamiento fisioterápico del equilibrio**

En fisioterapia, existen diferentes estrategias para el tratamiento del equilibrio. Principalmente se usa el ejercicio terapéutico, donde se engloban actividades, como las caminatas progresivamente más desafiantes, posturas mantenidas alternando apoyos monopodal y bipodal con ojos abiertos o cerrados (37–40), mantenimiento en superficies inestables en diferentes posiciones, como por ejemplo, de

rodillas (41) o en sedestación (42). También se trabaja el equilibrio mediante facilitación neuromuscular propioceptiva (43), realidad virtual, taichí, o terapia manual (44), entre otras intervenciones.

Según lo propuesto por Arienti et al. (45), las intervenciones fisioterapéuticas que producen un mayor beneficio sobre el equilibrio implican el entrenamiento de tareas repetitivas, yoga, ejercicios de hidroterapia y ejercicio terapéutico mediante circuitos, mientras que otras como los ejercicios de pedaleo repetitivo, la estimulación eléctrica funcional o la técnica Bobath, entre otras, muestran un escaso provecho en la mejora del equilibrio. (46).

## **1.6 Dispositivos para el tratamiento del equilibrio**

Existe bibliografía disponible de dispositivos tanto para medir el equilibrio, como Neurocom Balance Master (18,47–49), Biodex Balance System (50), HUMAC Balance System (51), plataformas podométricas (52) y acelerómetros (53), como sobre dispositivos que sirven para su tratamiento. En este aspecto, destacan la consola Nintendo Wii (52,54), los simuladores de hipoterapia (55), o las plataformas inestables como los BOSU (56), entre otros.

El uso de algunos de estos dispositivos está extendido, tanto para pacientes de todas las edades en periodos de rehabilitación como para deportistas que quieren mejorar su rendimiento.

### **1.6.1 En bipedestación, sedestación y supino.**

Destacan el dispositivo RobUST (57), el Balance Trainer, el NUVABAT (58) o la realidad virtual (59–61), con los que se trabaja principalmente en bipedestación, aunque algunos permiten de la misma manera el trabajo en sedestación. Además, se tienen en cuenta otros dispositivos como el treadmill (62,63), tanto en población adulta como infantil, aunque no hay estudios suficientes que avalen su eficacia en el trabajo del equilibrio (62,63), así como los simuladores de hipoterapia (55,64,65), que aportan beneficios en el trabajo del equilibrio en niños (55) y adultos (64) o el dispositivo Balance Bed (66), con el que se trabaja en posición decúbito supino.

### **1.6.2 Ventajas del uso de dispositivos**

La gran ventaja del entrenamiento mediante dispositivos, radica en la generación de desequilibrios irregulares que un terapeuta, por sí mismo, es incapaz de producir (67), reduciendo además, su carga de trabajo durante la rehabilitación (68). Además, el entrenamiento robótico produce mejoras en el equilibrio dinámico, en comparación con el entrenamiento convencional (69), y aumenta el disfrute y la adherencia al tratamiento (70).

Aunque se ha demostrado que la rehabilitación del equilibrio es efectiva, es importante comprender que una dosificación adecuada de la intervención fisioterapéutica es fundamental para aumentar dicha efectividad (71). Al trabajar mediante dispositivos electrónicos, se aumenta la intensidad y la dosis, lo que puede favorecer un aumento de la plasticidad neuronal (72–75).

### **1.6.2 Inconvenientes del uso de dispositivos**

Inicialmente, muchos dispositivos se diseñaron para el trabajo de la marcha, como el treadmill (63) o los exoesqueletos (76), que influyen indirectamente en el trabajo del equilibrio. Sería deseable el uso de dispositivos más especializados en el entrenamiento del mismo. Además, los dispositivos de tratamiento para el equilibrio en su mayoría, se han destinado a la investigación y no a su uso diario en la práctica clínica, resultando una gran limitación tanto para su adquisición como para su uso, debido al gran espacio que ocupan, el precio elevado y la complejidad de puesta en marcha, necesitando de personal cualificado.

### **1.7 Justificación**

El equilibrio es una capacidad necesaria en la mayoría de actividades de la vida diaria, y su afectación es frecuente en una gran cantidad de procesos, tanto patológicos como fisiológicos. Existen diferentes estrategias e intervenciones fisioterápicas para su tratamiento, pero para alcanzar las dosis necesarias para su mejora, se requiere tiempo y un esfuerzo importante por parte tanto del fisioterapeuta como del paciente. Se ha sugerido que el uso de dispositivos para tratar el equilibrio podría proporcionar dosis e intensidades mayores de tratamiento que las que se consiguen mediante tratamientos convencionales, pero estos dispositivos no están demasiado desarrollados y sus precios son elevados. Sería deseable diseñar un dispositivo nuevo para trabajar el equilibrio, que fuera versátil, económico y adaptable para diferentes tipos de pacientes y necesidades.

## **2. OBJETIVOS.**

### **2.1 Objetivo general.**

- Diseñar un dispositivo de bajo coste que, mediante diferentes accesorios pueda adaptarse para tratar el equilibrio en niños y adultos, tanto en bipedestación como en sedestación.

### **2.2 Objetivos específicos.**

- Describir los dispositivos disponibles actualmente para el tratamiento del equilibrio.
- Detectar las ventajas y limitaciones de los dispositivos utilizados actualmente para el trabajo del equilibrio.
- Definir los requerimientos para el diseño de un nuevo dispositivo versátil con diferentes accesorios para trabajar el equilibrio.
- Establecer relaciones de cooperación entre fisioterapeutas y estudiantes de fisioterapia, con ingenieros y estudiantes de ingeniería, a fin de definir las características necesarias para el diseño del dispositivo, participando activamente en el proceso de diseño.

### **2.3 Objetivos de Desarrollo Sostenible**

En el marco de los objetivos de desarrollo sostenible definidos por las Naciones Unidas en 2015 para la agenda 2030, este trabajo tiene un grado de implicación tipo II en los objetivos de industria, innovación e infraestructura, reducción de las desigualdades, producción y consumo responsable y alianzas para lograr los objetivos. Por otra parte, tiene un grado de implicación tipo III en salud y bienestar (ANEXO 1).

### **2.4 Pregunta de investigación.**

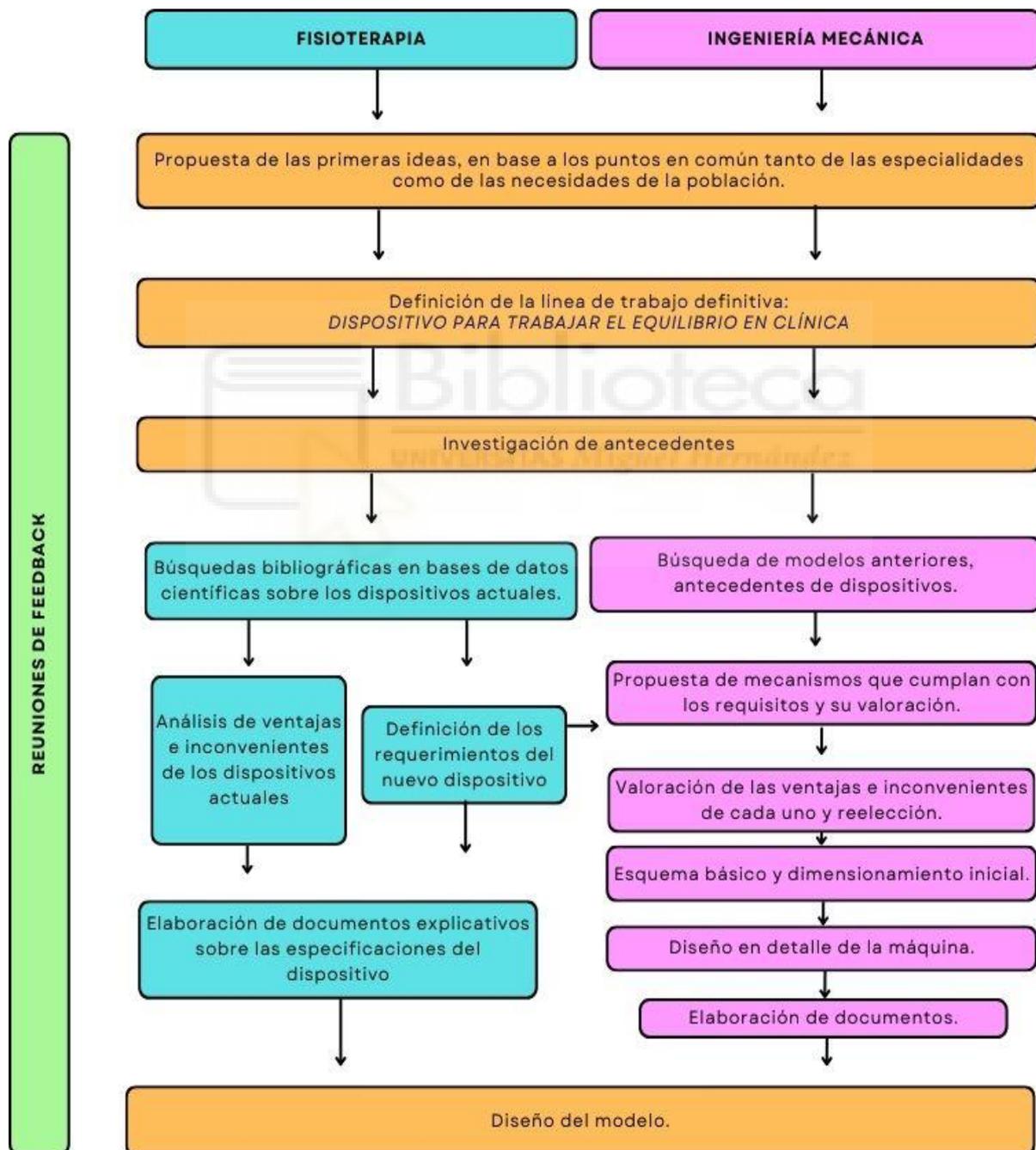
Averiguar qué características debería tener un dispositivo versátil, económico y disponible para distintos tipos de usuarios, en cuanto a edad o variables antropométricas como altura o peso y funcionales, a partir del estudio de las particularidades de los dispositivos ya existentes en la actualidad para el trabajo del equilibrio.

Debido a la metodología de este estudio, no lleva hipótesis.

### 3. METODOLOGÍA

Este proyecto ha sido aprobado por la oficina de investigación responsable de la Universidad Miguel Hernández de Elche, con el código de investigación: **TFG.GFL.MDCLN.BSS.231213**. (ANEXO 2).

El trabajo se enmarca dentro del programa TFG interdisciplinar, en el que participan los grados de fisioterapia e ingeniería mecánica y engloba diferentes metodologías. Las referentes a Fisioterapia constan de 4 fases y se muestran en color azul. La parte de trabajo realizada por todo el equipo, se muestran en naranja y verde (Figura 1).



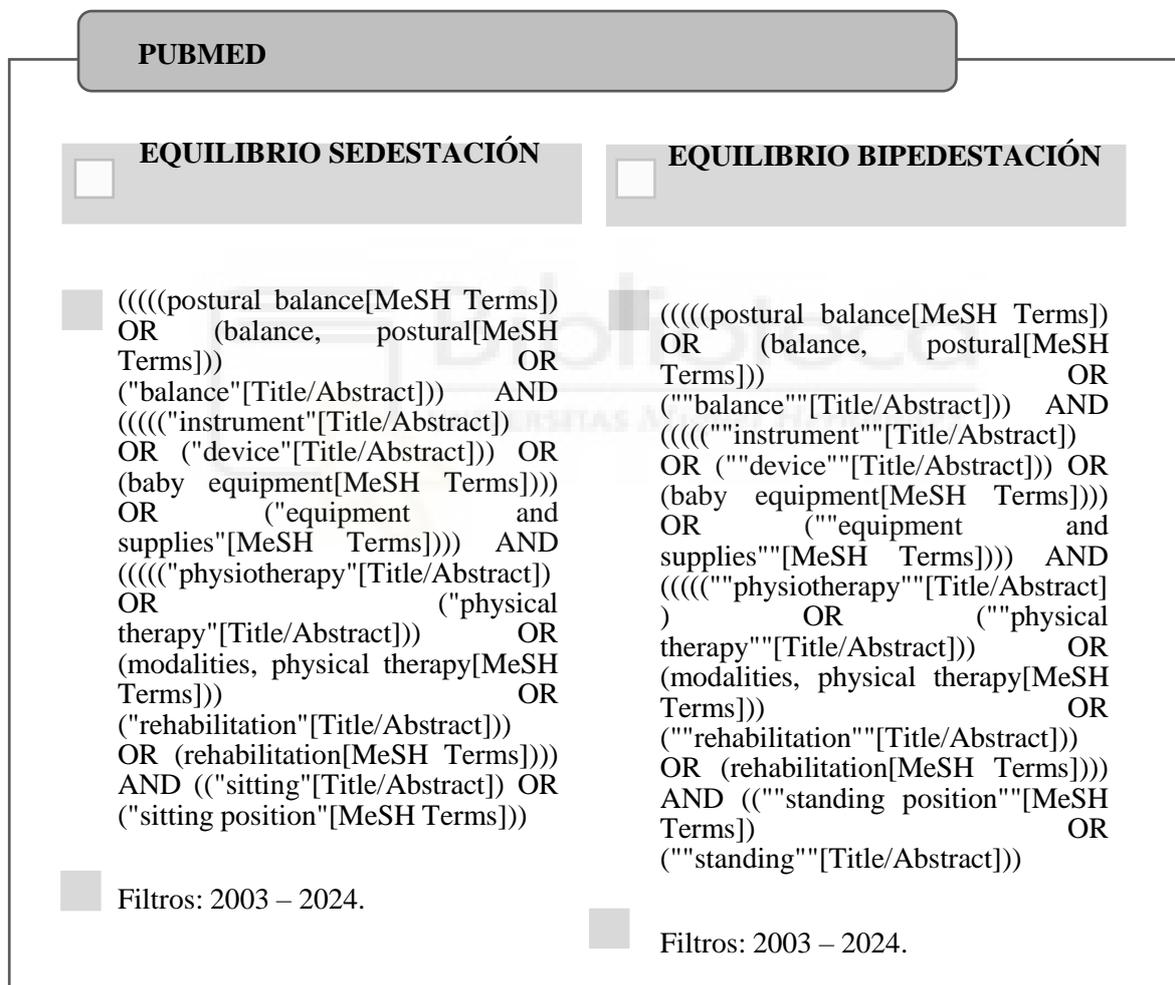
**Figura 1.** Diagrama sobre metodología de trabajo interdisciplinar.

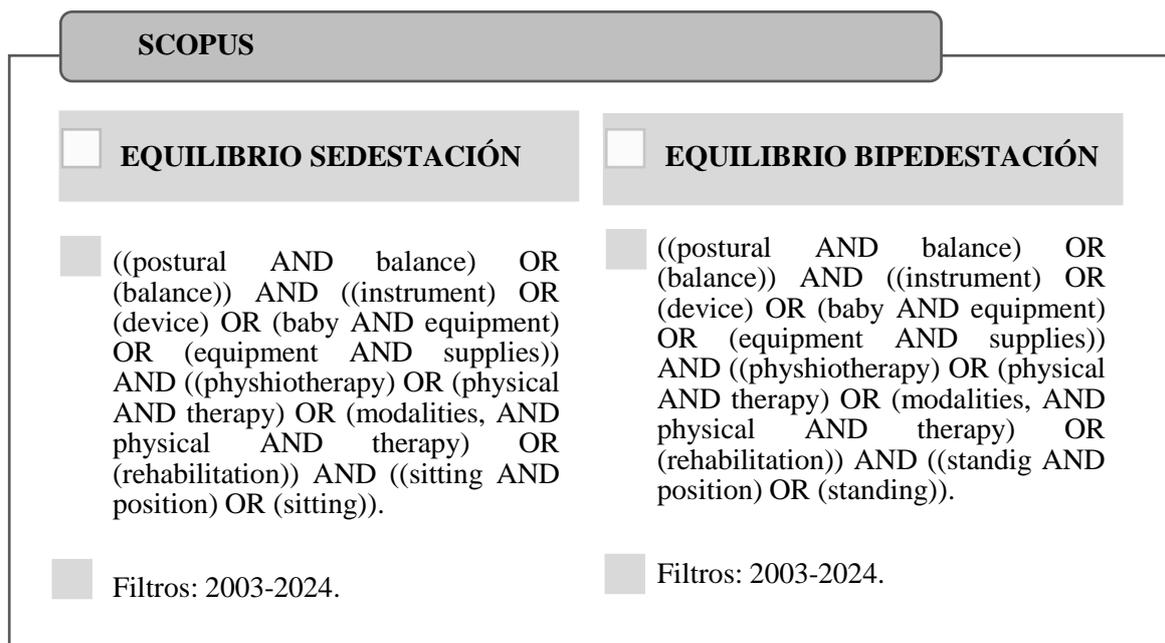
### 3.1 Realización de búsquedas bibliográficas

Para describir los dispositivos de los que disponemos en la actualidad para el tratamiento del equilibrio, tanto en bipedestación como en sedestación, así como detectar tanto sus ventajas como limitaciones, se realizan varias búsquedas bibliográficas en distintas bases de datos, tal y como se detalla a continuación.

#### 3.1.1 Estrategia de búsqueda

Se realizaron búsquedas en la base de datos PubMed durante el mes de noviembre de 2023 (Figura 2).





**Figura 2.** Esquema sobre las distintas búsquedas bibliográficas tanto en Pubmed como Scopus.

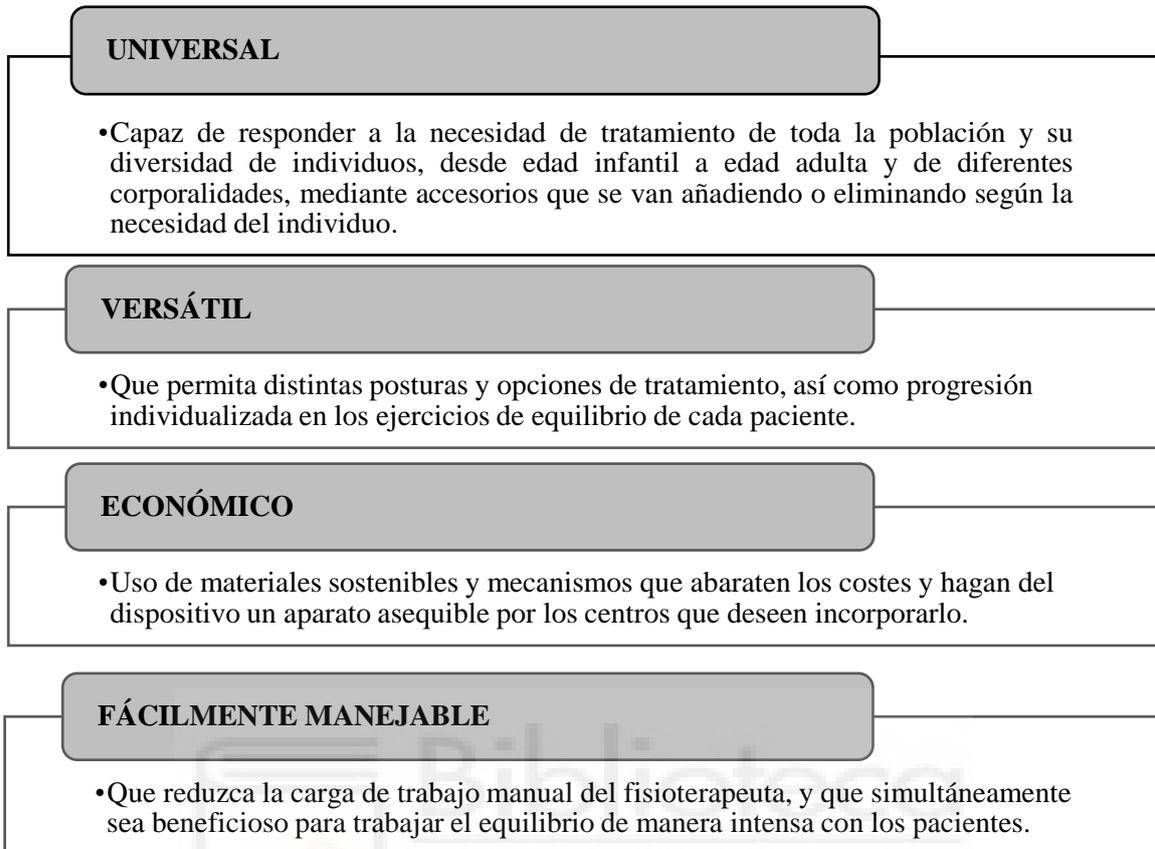
También, se realizaron otras búsquedas específicas en las bases de datos científicas anteriores para encontrar información más detallada sobre algunos de los dispositivos. Con toda la información recabada, se realizó una primera lectura de los títulos y abstracts, desechando los artículos que no cumplieran los criterios de inclusión:

1. Artículos que mostraran los dispositivos para trabajar el equilibrio en sedestación y/o bipedestación.
2. Que explicaran las características de los dispositivos, sus usos y mecanismos.

Posteriormente se realizó un análisis de la información obtenida en los artículos, extrayendo las características de los dispositivos actuales, ventajas e inconvenientes, usos y mecanismos.

### **3.2 Establecimiento de requisitos del dispositivo**

A partir de los resultados de las búsquedas bibliográficas y su posterior análisis, pudimos establecer que los requisitos indispensables que debe tener el nuevo dispositivo son los que a continuación se detallan (Figura 3).



*Figura 3. Requisitos básicos que debe tener el nuevo dispositivo.*

Posteriormente, en base a los requisitos estudiados y el feedback entre los miembros del equipo, se realiza un boceto a mano alzada sobre el aspecto primitivo que debería tener el dispositivo, en base a comparaciones con otras estructuras con el mismo fin.

### **3.3 Elaboración de documentos explicativos**

Durante todo el proceso, tanto las ideas sobre las características de los dispositivos actuales, extraídas del análisis de la bibliografía, como los bocetos de la forma y funcionalidad del dispositivo a construir, se plasmaron en documentos explicativos que se compartieron con el equipo de ingeniería. Se incluyeron datos como las dimensiones del bastidor, peso y alturas que debe soportar el mecanismo, bases texturizadas y posibles accesorios que sirvan como sujeciones, todos ellos categorizados según el tipo de paciente adulto o niño, con diferentes medidas. También se tuvo en cuenta las aplicaciones, si se trabaja en bipedestación o sedestación, así como el rango de afectación: el dispositivo permitirá el

uso desde pacientes muy afectados que necesitan sujeción a pacientes que no la necesitan o que necesitan una sujeción más ligera.

Para la elaboración de dichos documentos se utilizó un lenguaje accesible y se incluyeron dibujos de todas las partes del dispositivo, a fin de que los compañeros de ingeniería mecánica fueran capaces de comprender completamente los requisitos de nuestro dispositivo.

Los bocetos y dibujos iniciales fueron sufriendo modificaciones a medida que se fueron definiendo sus características de manera más concreta, en base a la literatura científica, los dispositivos disponibles en el mercado actualmente y las interacciones entre el equipo de ingeniería y el de fisioterapia. Según los datos relevantes que se obtuvieron mediante las revisiones bibliográficas, se justificaron las necesidades básicas que debería proporcionar el dispositivo y se fueron definiendo sus componentes.

Para definir los grados de oscilación que debe tener el dispositivo, se utilizan datos de mediciones realizadas acerca de esta variable, sobre una plataforma de madera oscilante donde se coloca a un grupo de individuos sanos compuesto por tres varones y tres mujeres de edades comprendidas entre los 18 y 50 años.

La medición consiste en la colocación del individuo sobre la plataforma y mediante grabación de videos e imágenes, definir la posición de partida, la inclinación máxima y la inclinación a la que el sujeto pierde el equilibrio. (ANEXO 3)

### **3.4 Realización de reuniones de feedback**

Durante todo el proceso se realizan trece reuniones de feedback mediante la plataforma Google Meet, de las cuales, cinco son sólo entre las estudiantes de fisioterapia e ingeniería mecánica, cinco más entre la tutora y la estudiante de fisioterapia; más diez correcciones escritas, una reunión más de ambas estudiantes con la tutora de fisioterapia y coordinadora del proyecto; y en las dos restantes se incluye a las dos estudiantes y a los dos tutores.

Los objetivos de las reuniones se basan en comentar la información que recopilada por ambas partes que sirviera como punto de partida para el diseño del nuevo dispositivo, y resolución de dudas. Tras la consulta del material aportado por parte del equipo de fisioterapia, las especificaciones del dispositivo se definen concluyentemente en las reuniones de feedback entre ambos equipos.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Resultados de las búsquedas bibliográficas

Se obtuvieron un total de 58 artículos en Pubmed y 118 en Scopus sobre dispositivos para trabajar el equilibrio en sedestación, y 213 en Pubmed y 398 en Scopus sobre dispositivos para el equilibrio en bipedestación. Del total, se desecharon 735 artículos, quedando un total de 52 artículos, tal y como refleja el diagrama de flujo siguiente (Figura 4).

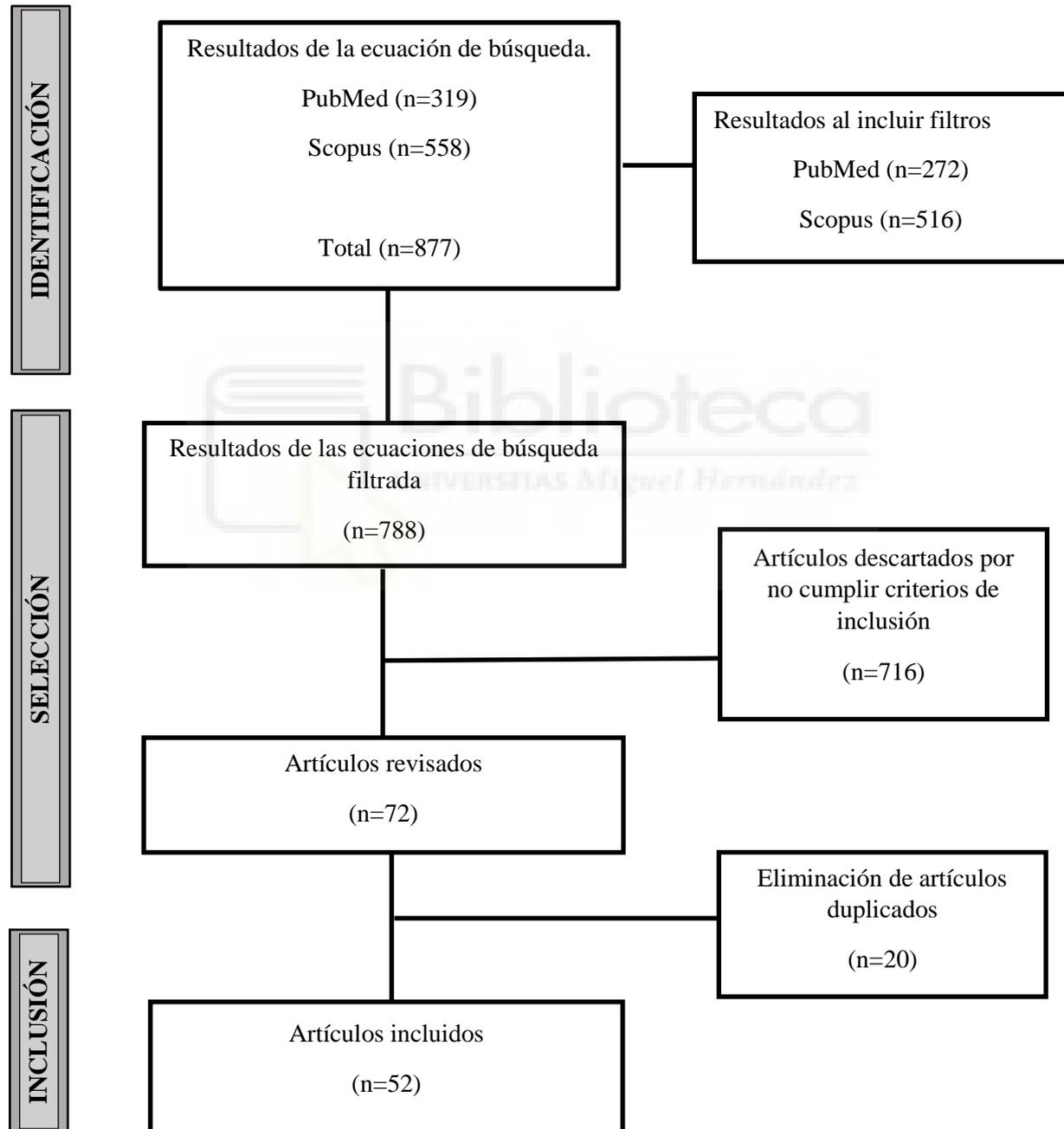


Figura 4. Diagrama de flujo sobre las búsquedas bibliográficas.

## 4.2 Descripción de los dispositivos actuales

### 4.2.1 Dispositivos para trabajar el equilibrio en sedestación

De todos los dispositivos estudiados, se usan para el trabajo del equilibrio en sedestación, los simuladores de hipoterapia (55,64,65), las plataformas inestables (77), y el dispositivo HUNOVA (78) (Tabla 1).

<b>DISPOSITIVOS PARA TRABAJAR EL EQUILIBRIO EN SEDESTACIÓN</b>			
<b>SIMULADORES DE HIPOTERAPIA (55,64,65)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>POSICIÓN DEL PACIENTE</b>
Dispositivo robótico con una silla dinámica que realiza movimientos similares a un caballo.	El movimiento de la pelvis en el caballo es similar al de la marcha humana.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dosificación del tratamiento aún no está clara.</li> <li>- Elevado coste del dispositivo.</li> <li>- Reducción de aferencias y eferencias al estar en un entorno clínico.</li> </ul>	Sedestación.
<b>PLATAFORMAS INESTABLES (77)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>POSICIÓN DEL PACIENTE</b>
La plataforma descrita por Motealleh et al. hace referencia a una semiesfera de madera sobre la que hay un asiento para el individuo, y rodeado de una barandilla como medida de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de materiales sostenibles, como la madera</li> <li>- Económico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Creado para la evaluación y no se usa para el tratamiento</li> </ul>	Sedestación
<b>HUNOVA (78)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>POSICIÓN DEL PACIENTE</b>
Dispositivo robótico compuesto por una silla acolchada y una plataforma donde colocar los pies y que posee sensores que envían la información detectada a un ordenador.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La interfaz memoriza los datos de cada paciente y los almacena en una base de datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No puede usarse si el paciente no es capaz de mantener un mínimo control de tronco.</li> <li>- No se puede iniciar el tratamiento en fases agudas.</li> </ul>	Sedestación

*Tabla 1. Dispositivos para el equilibrio en sedestación.*

#### 4.2.2 Dispositivos para trabajar el equilibrio en bipedestación

Para la bipedestación, se usa el treadmill (62,63), el RobUST (57), Balance Trainer (79) , Pro Balance (80), y el NUVABAT (58) (Tabla 2).

<b>DISPOSITIVOS PARA TRABAJAR EL EQUILIBRIO EN BIPEDESTACIÓN</b>			
<b>TREADMILL CON SOPORTE DE PESO PARCIAL (62,63)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>POSICIÓN DEL PACIENTE</b>
Cinta rodante especialmente creada para el trabajo de la marcha, aunque estudios avalan su uso para el trabajo del equilibrio de manera secundaria cuando al paciente se le suspende de manera parcial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo coste</li> <li>- Alta accesibilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poca literatura científica avala el trabajo en el equilibrio de manera aislada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bipedestación</li> </ul>
<b>ROBUST (57)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>POSICIÓN DEL PACIENTE</b>
Robot conformado por 14 motores que generan las perturbaciones y un sistema de captura de movimiento que refleja la posición del cuerpo en el espacio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posibilidad de trabajar el equilibrio simultáneamente a otras tareas, como alcance, coordinación brazo-mano...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solo se trabaja con pacientes que mantengan la bipedestación</li> <li>- Gran infraestructura al llevar 14 motores incorporados</li> <li>- Poco práctico en la clínica</li> <li>- Alto coste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bipedestación</li> </ul>
<b>BALANCE TRAINER (78)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>POSICIÓN DEL PACIENTE</b>
Bastidor de aluminio con ruedas, con una base móvil limitada a $\pm 15^\circ$ en todos los planos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posee una mesa de madera a la altura de la pelvis para trabajo simultáneo</li> <li>- Materiales económicos y sostenibles que abaratan los costes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solo se promueve su uso en pacientes que toleran la bipedestación, dejando a una gran cantidad de pacientes sin posibilidad de tratamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bipedestación</li> </ul>

<b>PRO BALANCE (79)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>POSICIÓN DEL PACIENTE</b>
Consiste en una plataforma circular de pequeño tamaño que se inclina en el plano anteroposterior y lateral mediante 8 resortes simétricos colocados perimetralmente.	- Permite un ajuste individual y progresivo del tratamiento	- Dificultad de manejo en pacientes complejos o muy afectos - No posee elementos de seguridad - Alto coste	- Bipedestación
<b>NUVABAT (58)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>POSICIÓN DEL PACIENTE</b>
Consiste en una plataforma de fuerza que se mueve en el plano anteroposterior y lateral, generando los movimientos propios del tobillo, que asociados a juegos de realidad virtual sirven para el trabajo del equilibrio.	- Se plantea como un dispositivo de bajo costo	- Inicialmente ideado para el trabajo de movilidad y fortalecimiento del tobillo - Trabaja con pacientes en estado avanzado de recuperación y no en fases iniciales	- Bipedestación

**Tabla 2.** Dispositivos para el equilibrio en bipedestación.

#### **4.2.3 Dispositivos para trabajar el equilibrio en decúbito supino**

Para decúbito supino, específicamente el dispositivo Balance Bed (66) (Tabla 3).

<b>DISPOSITIVOS PARA TRABAJAR EL EQUILIBRIO EN DECÚBITO SUPINO</b>			
<b>BALANCE BED (66)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>POSICIÓN DEL PACIENTE</b>
Dispositivo creado para el trabajo del equilibrio en decúbito supino, al estar el paciente tumbado sobre una mochila que genera perturbaciones a las que el individuo responde para no perder el equilibrio.	- Trabajo del equilibrio de manera precoz en un entorno clínico	- Poca versatilidad, solo se permite trabajar con un grupo de población muy reducido - Alto coste	- Decúbito supino

**Tabla 3.** Dispositivos para el equilibrio en decúbito supino.

#### 4.2.4 Dispositivos para trabajar el equilibrio en varias posturas

Además, hay dispositivos con los que se puede trabajar tanto en bipedestación como en sedestación. Es el caso de Rehab Home (81), o la realidad virtual (59–61), incluso en algunos más completos, también se usa con el paciente en apoyo monopodal, como la Wii Balance Board (52,82), o el bosu (56). (Tabla 4)

<b>DISPOSITIVOS PARA EL EQUILIBRIO EN BIPEDESTACIÓN Y SEDESTACIÓN</b>			
<b>WII BALANCE BOARD (52,81)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>POSICIÓN DEL PACIENTE</b>
Accesorio de la consola wii, posicionado como gran herramienta terapéutica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta adherencia tratamiento</li> <li>- Bajo coste</li> <li>- Fácil acceso</li> <li>- Posibilidad de asociar a nuevos modelos de juegos, como WeHab.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Juegos diseñados de manera genérica para individuos sin patología</li> <li>- Dosificación y progresión difíciles</li> <li>- Retroalimentación negativa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bipedestación</li> <li>- Sedestación</li> <li>- Apoyo monopodal</li> </ul>
<b>REHAB HOME (80)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>POSICIÓN DEL PACIENTE</b>
Dispositivo para el tratamiento del equilibrio basado en el wii balance board, a nivel domiciliario, usando dos plataformas wii, una webcam y un ordenador.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trabajo domiciliario</li> <li>- Feedback instantáneo del ejercicio</li> <li>- Progresión específica para cada paciente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El trabajo domiciliario implica la no revisión permanente del ejercicio por parte del fisioterapeuta.</li> <li>- Alto coste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bipedestación</li> <li>- Sedestación</li> </ul>
<b>BOSU BALANCE TRAINER (56)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>POSICIÓN DEL PACIENTE</b>
Consiste en una semiesfera rellena de aire, con una plataforma plana en la base, antideslizante.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso tanto por el lado plano como el lado de semiesfera.</li> <li>- Económico, accesible, adecuado para el uso doméstico</li> <li>- Baja complejidad de ejercicios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No da una medición cuantitativa y objetiva del equilibrio del paciente</li> <li>- Difícil realizar un seguimiento y dosificar el ejercicio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bipedestación</li> <li>- Sedestación</li> <li>- Apoyo monopodal...</li> </ul>

<b>REALIDAD VIRTUAL (59–61)</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>POSICIÓN DEL PACIENTE</b>
Interfaz usuario-ordenador en la que se simula un escenario, mientras se desarrollan tareas de manera simulada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ofrece muchos estímulos sensoriales y funcionales</li> <li>- Aumento de concentración del paciente durante la tarea</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distintos tipos: inmersiva, no inmersiva, semiinmersiva, que hacen difícil cuantificar los efectos y la dosificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bipedestación</li> <li>- Sedestación</li> </ul>

**Tabla 4.** Dispositivos para el trabajo del equilibrio tanto en bipedestación como en sedestación.

#### **4.3 Elaboración de documentos explicativos**

Además de la información contenida en las tablas mostradas anteriormente con la descripción de los dispositivos actuales, se realizaron los siguientes documentos explicativos en base a los resultados de las búsquedas bibliográficas sobre las características de los dispositivos (ANEXOS 3, 4, 5, 6).

- ANEXO 3. Resultados de las mediciones de equilibrio.
- ANEXO 4. Ideas iniciales sobre las necesidades del dispositivo.
- ANEXO 5. Características iniciales del dispositivo.
- ANEXO 6. Formas de trabajo según la posición del individuo.

#### **4.4 Realización de reuniones de feedback**

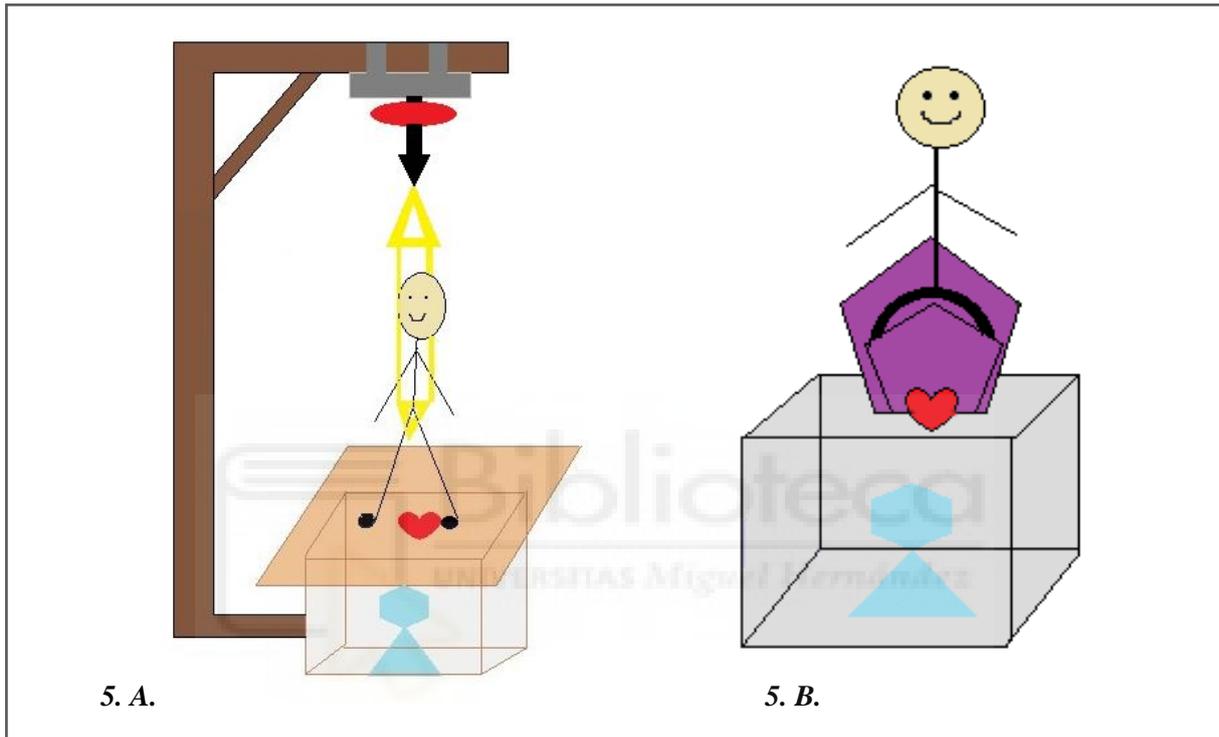
Durante el proceso se realizaron trece reuniones de feedback entre los equipos, se abordando los siguientes contenidos:

- 1) Lluvia de ideas para elegir el tipo de dispositivo a diseñar.
- 2) Propuestas de diferentes tipos de dispositivos.
- 3) Elección del dispositivo a diseñar.
- 4) Discusión sobre las ventajas e inconvenientes de los dispositivos actuales existentes.
- 5) Establecimiento de necesidades y prestaciones del dispositivo.
- 6) Tipos de anclajes, mecanismos, medidas y otras características del dispositivo dirigidas a conseguir las prestaciones deseadas.

Los integrantes de cada reunión así como su contenido en relación a los seis objetivos anteriores, se detallan en un diagrama en el anexo 7. (ANEXO 7)

#### 4.5 Características del dispositivo

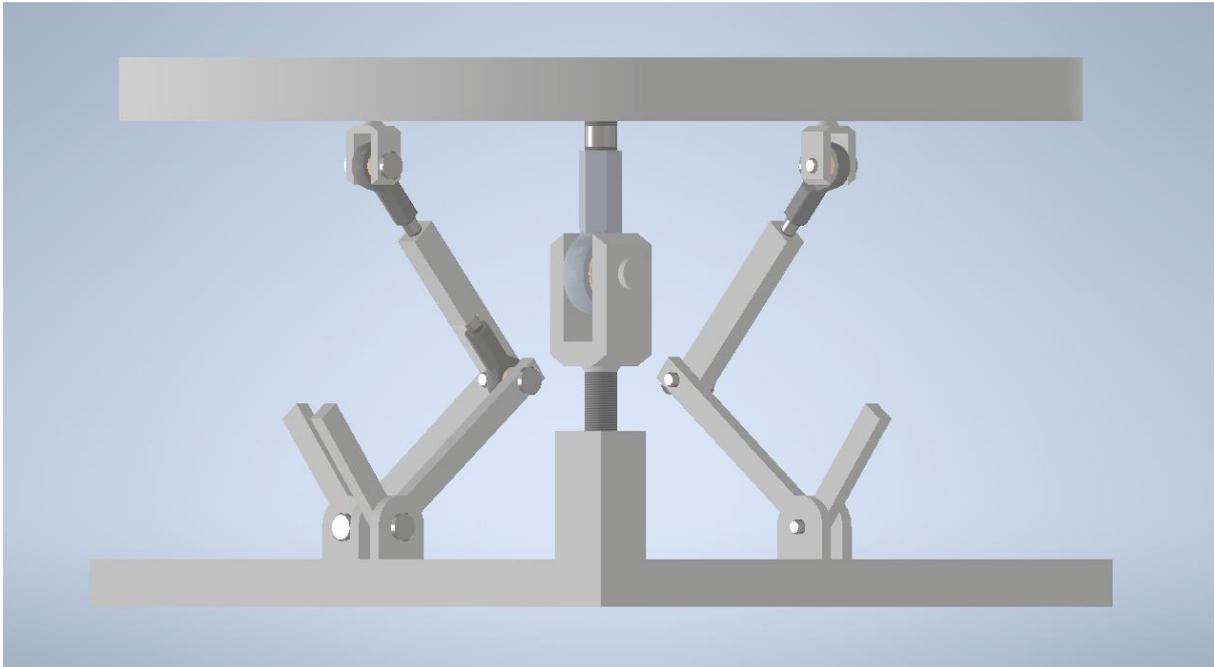
El dispositivo constará de una plataforma central oscilante, sobre las que se irán colocando diferentes accesorios que permitirán el trabajo del equilibrio en bipedestación y sedestación, dependiendo de las necesidades. Si es preciso, se realizará una sujeción con un arnés para evitar las caídas. (Figura 5. A y B). Posteriormente se detallan las características específicas.



**Figura 5.** 5. A. Boceto del dispositivo para trabajar en bipedestación. 5. B Boceto del dispositivo para trabajar en sedestación.

**Fuente imágenes:** Imágenes de elaboración propia.

Pese a que el diseño no se encuentra aun completamente desarrollado, a continuación se muestra una imagen boceto del mecanismo interno del dispositivo (Figura 6).



**Figura 6.** Imagen de los componentes internos del mecanismo oscilador del dispositivo.

**Fuente imagen:** Elaboración por parte de la estudiante de ingeniería mecánica.

El dispositivo constará de los siguientes componentes: rótula, horquilla, bielas, bastidor, barra fija lateral, plataformas oscilantes y accesorios anexos. (Tabla 5)

<b>COMPONENTES DEL MECANISMO INTERNO DEL DISPOSITIVO</b>	
<b>RÓTULA Y BIELA</b>	
	<p>La rótula es el mecanismo principal que permite el movimiento del dispositivo. Se basa en una articulación de forma esférica entre dos piezas: la rótula y la biela que giran, permitiendo un movimiento relativo entre todos los planos.</p> <p>Tiene tres grados de libertad, generando desplazamiento en el mismo plano, en el perpendicular y rotando alrededor del eje.</p> <p>Tiene un soporte de peso de alrededor de 300 kilogramos.</p>

## HORQUILLA



La horquilla es una pieza en forma de Y. En este caso, sirve para anclar la rótula y su biela mediante un perno, evitando que la rótula se mueva sin control y manteniéndola en posición vertical. La horquilla es de rosca en su parte final, sirviendo así para anclarse al bastidor.

## BIELAS



Las bielas, aparte de para envolver la rótula, se colocan ancladas a la base superior del dispositivo, de manera perimetral a la rótula, uniendo la base al bastidor mediante varillas de acero que se colocan formando bisagras. Entre ellas se define un espacio llamado balancín, de acero y 1cm de ancho.

## BISAGRAS

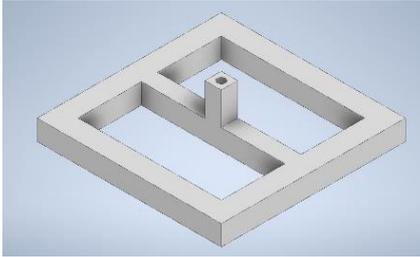


Se forman con tubos cilíndricos de acero en la base del dispositivo, para evitar el giro de la plataforma oscilante sobre su propio eje, permitiendo solo el movimiento de la rótula en el plano anteroposterior y lateral.

## AMORTIGUADORES DE ACEITE



Los amortiguadores de aceite son un elemento esencial en la suspensión del dispositivo, suavizando el movimiento de oscilación. Se colocan entre las bielas que unen las bisagras con la base del dispositivo, concretamente, en el interior de los balancines.

<b>BASTIDOR</b>	
	<p>El bastidor es un perfil de acero de base cuadrada, compuesta por largueros y travesaños, que sirve como base para anclar tanto la horquilla que sujeta la rótula, como en los largueros, el embellecedor que protege el mecanismo.</p>
<b>BARRA FIJA LATERAL</b>	
<p>Barra fija de aproximadamente 2 metros de altura, a la que se incorpora otra barra lateralmente en la parte superior de aproximadamente 60 centímetros donde se ancla una polea eléctrica que permite el ajuste del paciente y su colocación desde el suelo hasta la plataforma.</p>	
<b>POLEA ELÉCTRICA</b>	
	<p>La polea eléctrica eleva cargas de hasta 250 kilos a una altura máxima de 5,7 metros, gracias a un motor y un cable de acero.</p> <p>El peso del dispositivo son 10kg, por lo que mediante las anillas que posee es capaz de sujetarse cómodamente a la barra fija.</p>
<b>ANCLAJES UNIVERSALES</b>	
	<p>Sirven como punto de unión entre los distintos accesorios y la base del dispositivo. Son comerciales, de tipo perilla.</p> <p>Se colocará un anclaje en la base del dispositivo y el resto en la base de cada accesorio en forma de U y la perilla como unión.</p>

**Tabla 5.** Componentes del mecanismo interno del dispositivo.

Fuente imágenes: Google imágenes e imágenes facilitadas por el equipo de ingeniería mecánica.

#### **4.5.1 Detalles de ajuste del dispositivo.**

Bajo la plataforma central, estará el mecanismo interno que permitirá la oscilación controlada, mediante grados prefijados tanto en el grado anteroposterior como en el lateral, ajustado grado a grado según la tolerancia del paciente.

El abanico de grados en el plano anteroposterior va de 18° a 25°, mientras que en el plano lateral entre 18° y 20°, con variabilidad de ajuste grado a grado. Se definen estos parámetros gracias a las mediciones de vídeo de los individuos en la plataforma de equilibrio en ambos planos (ANEXO 3).

Esta inclinación, se frena gracias a los amortiguadores presentes en el interior de los balancines, en el plano lateral. Además, el mecanismo basado en una rótula, permite el movimiento en un tercer grado más, lo que implica que la plataforma gire sobre sí misma. Este movimiento se restringe gracias a la colocación de las bisagras en el plano lateral.

Para el trabajo en bipedestación (figura 6.A), se coloca una barra lateral anclada al embellecedor de aproximadamente 2 metros de alto.. Se estipulan 2 metros en función de la estatura media de un adulto definida por Carvalho et al (83). La barra posee una extensión en horizontal en la parte superior, con una polea eléctrica comercial que posea un gancho a fin de poder anclar los arneses de los pacientes con los que se está trabajando para aportar seguridad.

Además, para el trabajo en bipedestación se deben colocar diferentes plataformas que serán las que oscilen unidas a la base del dispositivo. Serán de longitud y anchura suficiente para abarcar a un paciente en bipedestación con los pies separados a la altura de los hombros, con una distancia añadida que funcione como perímetro de seguridad. Habrá dos plataformas y se utilizarán según el tamaño del paciente a tratar: la plataforma de adultos, con dimensiones 130x100 centímetros, en función de la longitud de un paso definida por Kawai et al. (84) en su estudio, y la de niños, 105x70 centímetros.

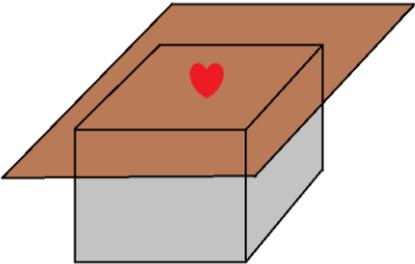
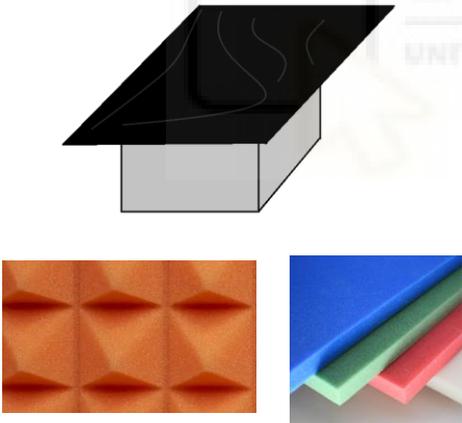
#### **4.5.2 Dimensiones del dispositivo**

El mecanismo oscilador irá protegido por un embellecedor de aluminio atornillado a los perfiles del bastidor y de tamaño suficiente, haciendo que el dispositivo en total alcance unas dimensiones de 40 centímetros de alto, 60 centímetros de diámetro. El conjunto del mecanismo, sin tener en cuenta los accesorios tendrá un peso aproximado de unos 50 kilos.

#### **4.5.3 Accesorios del dispositivo**

Los accesorios anexos sirven tanto para permitir la diversidad en cuanto a tipos y condiciones de pacientes, así como para poder trabajar el equilibrio tanto en bipedestación como en sedestación.

Encontramos las plataformas oscilantes, los tapices texturizados, los mosquetones y los arneses para el trabajo en bipedestación (tabla 6), y el asiento *Bumbo floor seat*, el portaniños de bicicleta, silla de ruedas de tipo escritorio y chaleco retropectoral para la sedestación (tabla 7).

<b>ACCESORIOS DEL DISPOSITIVO PARA LA BIPEDESTACIÓN</b>	
<b>PLATAFORMAS OSCILANTES</b>	
	<p>Plataforma de tamaño adecuado al paciente y anclada a la base del dispositivo con anclaje universal.</p> <p>Sobre ella se coloca el paciente en bipedestación.</p> <p>Tamaño de la plataforma de adulto: 130x100 cm; plataforma infantil: 105x70 cm.</p>
<b>TAPICES CON TEXTURAS</b>	
	<p>La plataforma oscilante se podrá suplementar con otras superficies de diferentes texturas, para el trabajo de la propiocepción en bipedestación. Los contornos rugosos aumentan la activación de los mecanorreceptores a velocidad alta, y las superficies más suaves, a velocidad más baja (85). Se establecen de esta manera, dos tipos de texturas: láminas de plastazote como textura suave y goma EVA<sup>®</sup> con textura piramidal.</p>
<b>MOSQUETONES</b>	
	<p>Sirven como elemento de seguridad para los pacientes sujetando el arnés que llevarán puesto, a la extensión horizontal superior de la barra lateral anclada al bastidor.</p>

<b>ARNESES</b>	
	<p>Se usarán para sujetar al paciente y se anclarán mediante mosquetones a la extensión horizontal superior de la barra lateral.</p> <p>Podrán ser de distinto tamaño según la corporalidad del paciente.</p>

**Tabla 6.** Accesorios del dispositivo para el trabajo en bipedestación.

*Fuente imágenes: Google imágenes e imágenes de autoría propia.*

Para pacientes con alteraciones leves, que no precien de sujeciones, se puede trabajar también la sedestación con las plataformas oscilantes, y éstas tendrán posibilidad de texturizarse o no, según el objetivo del tratamiento y las condiciones del paciente.

Para abaratar costes en el dispositivo, se han seleccionado como accesorios algunos elementos existentes en el mercado que, mediante los anclajes universales, se acoplarán a las plataformas en los momentos necesarios, según el objetivo de tratamiento y el tamaño y capacidades de los pacientes.

<b>ACCESORIOS DEL DISPOSITIVO PARA LA SEDESTACIÓN</b>	
<b>BUMBO FLOOR SEAT®</b>	
	<p>Es un dispositivo ergonómico para colocar en sedestación a bebés entre 3 y 12 meses o a aquellos que no superen los 8 kg. Posee arnés de seguridad.</p>
<b>PORTANIÑOS DE BICICLETA</b>	
	<p>Sillita de plástico para colocar sentados a niños con pesos comprendidos entre 8 y 22 kg. Posee arnés de seguridad.</p>

<b>SILLA DE RUEDAS DE TIPO ESCRITORIO</b>	
	<p>Silla de escritorio para trabajar con pacientes adultos muy afectos y en sedestación. Posee reposacabezas y reposabrazos, pero para mayor seguridad, se incorpora de manera adicional un chaleco retropectoral. Se anclará a la unidad central.</p>

**Tabla 7.** Accesorios del dispositivo para el trabajo en sedestación.

Fuente imágenes: Google imágenes.

#### **4.5.4 Coste del dispositivo**

El coste total del dispositivo sería de 1254,92 euros aproximadamente, a lo que se sumaría el coste de producción y montaje del mecanismo interno, entre otros gastos, y permitiría el trabajo del equilibrio tanto en sedestación como en bipedestación, en niños y adultos con distintas patologías y niveles de funcionalidad. (ANEXO 8).



## 5. DISCUSIÓN

Este proyecto se realiza de manera colaborativa entre estudiantes de diferentes titulaciones dentro de un equipo interdisciplinar, donde prima la innovación y la comunicación entre los diferentes integrantes, aportando cada uno de ellos los conocimientos propios de su disciplina para conseguir un objetivo común, en este caso, el diseño de un dispositivo para trabajar el equilibrio en sedestación y bipedestación. (86)

La definición de trabajo interdisciplinar requiere que el personal implicado en el proyecto llegue a un acuerdo sobre el significado del mismo, reinterpretándolo cada vez que surjan nuevas tareas a desarrollar, para solventar adecuadamente el reparto de roles, establecimiento de metas o toma de decisiones. Según Weiss et al. (87), éstas tareas se establecen como áreas problemáticas en este tipo de trabajo, así como los patrones de comunicación entre los integrantes del entorno académico y siendo necesaria la motivación personal por el logro de metas comunes e individuales.

En nuestro caso, se comprendió desde el primer momento el propósito del trabajo, lo que ayudó a definir correctamente desde el inicio, el papel de cada integrante, sin perder de vista tanto el objetivo común como las metas personales, resultando la metodología interdisciplinar positiva tanto a nivel particular, como global. Esta metodología favorece la adquisición de competencias transversales como el trabajo en equipo, entre otras muy vinculadas a la empleabilidad (88).

En este caso, el proyecto aborda la necesidad de la creación de un dispositivo para el trabajo de equilibrio, novedoso y que sea económico, versátil y sostenible con el medioambiente, resultando asequible para la población, ya que existen carencias en la actualidad que hacen referencia a su complejidad técnica en algunos casos y su sencillez en otros, y principalmente, al alto coste de los dispositivos, haciéndolos inalcanzables en muchas ocasiones (46).

Además, en gran parte de los dispositivos existentes no se plantea en detalle la seguridad del individuo (78), siendo solventado ese problema en nuestro dispositivo gracias a la colocación de mosquetones en la barra lateral donde se suspende al paciente mediante un arnés, y en el uso de arneses de sujeción en los accesorios destinados a la sedestación.

El nuevo dispositivo, pretende ser práctico no solo para el profesional sino también para los usuarios, económico, ya que la usabilidad depende en gran medida de su precio (81), ser respetuoso con el medioambiente y adaptarse con facilidad a las necesidades clínicas y del individuo. En nuestro estudio, para abaratar costes y reducir el impacto ambiental, se emplea acero y aluminio como material principal y se permite mediante el acople de diversos accesorios, existentes en el mercado y de bajo coste, una mayor versatilidad que en los dispositivos actuales, como el bosu o las plataformas inestables.

### **5.1 Limitaciones**

Los estudios sobre los dispositivos accesibles más tecnológicos, como la Realidad Virtual o la Wii Balance Board, en su mayoría versan sobre paciente neurológico (45,60) por lo que aunque son beneficiosos y suponen un avance en la metodología de trabajo, es necesario realizar más estudios donde se prueben en más tipos de individuos.

Por otra parte, existe una evidente falta de literatura científica de alta calidad metodológica (45), pues en los estudios publicados no hay consenso en cuanto a las intervenciones que son efectivas para el tratamiento del equilibrio, dificultando su evaluación y dosificación del tratamiento.

### **5.2 Ideas de futuro**

El siguiente paso tras el diseño del dispositivo, sería construir un prototipo real a fin de probar su eficacia, aceptación, usabilidad y recoger propuestas de mejora, tanto por parte de los profesionales como de los pacientes, en distintas poblaciones de estudio, ya que según Sakel et al. (89), las investigaciones futuras deben tener en cuenta la disponibilidad y el acceso a los equipos por parte de todos los individuos. Mediante ese feedback por parte de los usuarios, se harán las mejoras pertinentes, hasta tener un modelo inicial, con el que se solicitaría una patente para poder comercializarlo.

Ese modelo se pondría en uso en distintas poblaciones, con el objetivo de establecer recomendaciones de tratamiento según patologías y características de los sujetos. Posteriormente, se podría realizar un diseño de estudio longitudinal que permita optimizar los parámetros del entrenamiento en distintas poblaciones y pacientes. (90)

## 6. CONCLUSIONES.

1. De forma interdisciplinar, se ha diseñado un dispositivo para el trabajo del equilibrio en sedestación y bipedestación, que responde a las características de: 1) bajo coste, gracias al uso de materiales sostenibles ecológicos, como son acero o aluminio; 2) versatilidad, permitiendo trabajar con diferentes pacientes y distintas posiciones, a partir de la colocación de accesorios anexos a una base común.
2. Los dispositivos existentes que se utilizan para el equilibrio principalmente se tratan de dispositivos comerciales no creados para tal fin, aprovechando en su mayoría interfaces virtuales, como en el caso de la realidad virtual, el Wii Balance Board o el Rehab Home, aunque también hay otros más básicos, como el Bosu.
3. Entre las principales ventajas de los dispositivos para el tratamiento del equilibrio se encuentran el aumento de la satisfacción y la adherencia al tratamiento por parte del paciente, el aumento de la intensidad y dosificación del trabajo que se realiza.
4. Las principales desventajas en los dispositivos para el tratamiento del equilibrio radican tanto en el coste del producto, como en su poca capacidad de adaptación a distintos individuos con distintas capacidades y la poca seguridad que ofrecen al paciente.
5. A raíz del conocimiento de las ventajas e inconvenientes de los dispositivos actuales, se detallan las características que debe tener el nuevo instrumento, donde se destaca el precio económico, la capacidad de transformación según las características y necesidades del paciente a partir de la colocación de accesorios anexos sobre una base común y la facilidad de manejo tanto para profesional como para los usuarios.
6. Para la realización de este estudio, se han establecido metodologías y relaciones de cooperación entre fisioterapeutas y estudiantes de fisioterapia con ingenieros y estudiantes de ingeniería, lo que es posible gracias al programa TFG interdisciplinar.

## 7. BIBLIOGRAFÍA.

1. Guzik A, Wolan-Nieroda A, Kochman M, Perenc L, Druzbicki M. Impact of mild COVID-19 on balance function in young adults, a prospective observational study. *Sci Rep.* 2022;12:12181.
2. Alsufiany MB, Lohman EB, Daher NS, Gang GR, Shallan AI, Jaber HM. Non-specific chronic low back pain and physical activity: A comparison of postural control and hip muscle isometric strength. *Medicine (Baltimore).* 2020;99(5):e18544.
3. Błaszczuk J, Beck M, Sadowska D. Assessment of postural stability in young healthy subjects based on directional features of posturographic data: Vision and gender effects. *Acta Neurobiol Exp (Warsz).* 2014;74(4):433-42.
4. Chiari L, Rocchi L, Cappello A. Stabilometric parameters are affected by anthropometry and foot placement. *Clin Biomech.* 2002;17(9-10):666-77.
5. Hageman PA, Leibowitz JM, Blanke D. Age and gender effects on postural control measures. *Arch Phys Med Rehabil.* 1995;76(10):961-5.
6. Horlings CG, Engelen BG van, Allum JH, Bloem BR. A weak balance: the contribution of muscle weakness to postural instability and falls. *Nat Clin Pract Neurol.* 2008;4(9):504-15.
7. Kim SM, Qu F, Lam WK. Analogy and explicit motor learning in dynamic balance: Posturography and performance analyses. *Eur J Sport Sci.* 2021;21(8):1129-39.
8. Liu H, Frank A. Tai chi as a balance improvement exercise for older adults: a systematic review. *J Geriatr Phys Ther* 2001. 2010;33(3):103-9.
9. Orr R, Raymond J, Singh MF. Efficacy of Progressive Resistance Training on Balance Performance in Older Adults. *Sports Med.* 2008;38(4):317-43.
10. Phu S, Vogrin S, Saedi AA, Duque G. <p>Balance training using virtual reality improves balance and physical performance in older adults at high risk of falls</p>. *Clin Interv Aging.* 2019;Volume 14:1567-77.
11. Tollár J, Nagy F, Csutorás B, Prontvai N, Nagy Z, Török K, et al. High Frequency and Intensity Rehabilitation in 641 Subacute Ischemic Stroke Patients. *Arch Phys Med Rehabil.* 2021;102(1):9-18.
12. Tramontano M, Dell'Uomo D, Cinnera AM, Luciani C, Lorenzo CD, Marcotulli M, et al. Visual-spatial training in patients with sub-acute stroke without neglect: a randomized, single-blind controlled trial. *Funct Neurol.* 2019;34(1):7-13.
13. Gordt K, Gerhardy T, Najafi B, Schwenk M. Effects of Wearable Sensor-Based Balance and Gait Training on Balance, Gait, and Functional Performance in Healthy and Patient Populations: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Gerontology.* 2017;64(1):74-89.
14. Saavedra SL, Donkelaar PV, Woollacott MH. Learning about gravity: segmental assessment of upright control as infants develop independent sitting. *J Neurophysiol.* 2012;108:2215-29.
15. Graaf-Peters VBD, Bakker H, Eykern LAV, Otten B, Hadders-Algra M. Postural adjustments and reaching in 4- and 6-month-old infants: An EMG and kinematical study. *Exp Brain Res.* 2007;181(4):647-56.
16. Pin TW, Butler PB, Cheung HM, Shum SLF. Relationship between segmental trunk control and gross motor development in typically developing infants aged from 4 to 12 months: A pilot study. *BMC Pediatr.* 2019;19(1).

17. Westcott SL, Burtner P. Postural control in children: Implications for pediatric practice. Vol. 24, *Physical and Occupational Therapy in Pediatrics*. Haworth Press Inc.; 2004. p. 5-55.
18. Shumway-Cook A, Hutchinson S, Kartin D, MSME RP, Woollacott M. Effect of balance training on recovery of stability in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2003;45(9):591-602.
19. McCoy SW, Jirikowic T, Price R, Ciol MA, Hsu LY, Dellon B, et al. Virtual sensorimotor balance training for children with fetal alcohol spectrum disorders: Feasibility study. *Phys Ther*. 2015;95(11):1569-81.
20. Nahla MI, El-Sayed SE, Ragaa AEE, Ghafar AEHAAE. Mechanical vestibular stimulation versus traditional balance exercises in children with Down syndrome. *Afr Health Sci*. 2022;22(1):377-83.
21. Dufvenberg M, Adeyemi F, Rajendran I, Öberg B, Abbott A. Does postural stability differ between adolescents with idiopathic scoliosis and typically developed? A systematic literature review and meta-analysis. Vol. 13, *Scoliosis and Spinal Disorders*. BioMed Central Ltd.; 2018.
22. Ottobon C, Fontes SV, Eukujima MM. Estudo Comparativo entre a Marcha Normal e a de Pacientes Hemiparéticos por Acidente Vascular Encefálico. *Rev Neurociências*. 2002;10(1):10-6.
23. Sibley KM, Carpenter MG, Perry JC, Frank JS. Effects of postural anxiety on the soleus H-reflex. *Hum Mov Sci*. 2007;26(1):103-12.
24. Capra NF, Ro JY. Experimental muscle pain produces central modulation of proprioceptive signals arising from jaw muscle spindles. *Pain*. 2000;86(1):151-62.
25. Ruhe A, Fejer R, Walker B. Center of pressure excursion as a measure of balance performance in patients with non-specific low back pain compared to healthy controls: A systematic review of the literature. Vol. 20, *European Spine Journal*. 2011. p. 358-68.
26. Vamos EP, Bottle A, Edmonds ME, Valabhji J, Majeed A, Millett C. Changes in the Incidence of Lower Extremity Amputations in Individuals With and Without Diabetes in England Between 2004 and 2008. *Diabetes Care*. 2010;33(12):2592-7.
27. Shapiro CL, Recht A. Side Effects of Adjuvant Treatment of Breast Cancer. *N Engl J Med*. 2001;344(26):1997-2008.
28. Nacci A, Ferrazzi M, Berrettini S, Panicucci E, Matteucci J, Bruschini L, et al. Vestibular and stabilometric findings in whiplash injury and minor head trauma. *Acta Otorhinolaryngol Ital Organo Uff Della Soc Ital Otorinolaringol E Chir Cerv-facc*. 2011;31(6):378-89.
29. Fielding RA, Vellas B, Evans WJ, Bhasin S, Morley JE, Newman AB, et al. Sarcopenia: An Undiagnosed Condition in Older Adults. Current Consensus Definition: Prevalence, Etiology, and Consequences. International Working Group on Sarcopenia. *J Am Med Dir Assoc*. 2011;12(4):249-56.
30. Terao S ichi, Sobue G, Hashizume Y, Li M, Inagaki T, Mitsuma T. Age-related changes in human spinal ventral horn cells with special reference to the loss of small neurons in the intermediate zone: a quantitative analysis. *Acta Neuropathol (Berl)*. 1996;92(2):109-14.
31. McNeil CJ, Doherty TJ, Stashuk DW, Rice CL. The effect of contraction intensity on motor unit number estimates of the tibialis anterior. *Clin Neurophysiol*. 2005;116(6):1342-7.
32. T M, JJ H, SU D. Changes in the peripheral nervous system. *Princ Neural Aging*. 1997;304-16.

33. Era P, Sainio P, Koskinen S, Haavisto P, Vaara M, Aromaa A. Postural Balance in a Random Sample of 7,979 Subjects Aged 30 Years and Over. *Gerontology*. 2006;52(4):204-13.
34. Hytönen M, Pyykkö I, Aalto H, Starck J. Postural Control and Age. *Acta Otolaryngol (Stockh)*. 1993;113(2):119-22.
35. Abrahamová D, Hlavacka F. Age-related changes of human balance during quiet stance. *Physiol Res*. 2008;57(6):957-64.
36. Messier V, Rabasa-Lhoret R, Barbat-Artigas S, Elisha B, Karelis AD, Aubertin-Leheudre M. Menopause and sarcopenia: A potential role for sex hormones. *Maturitas*. 2011;68(4):331-6.
37. Nanhoe-Mahabier W, Allum JH, Pasma EP, Overeem S, Bloem BR. The effects of vibrotactile biofeedback training on trunk sway in Parkinson's disease patients. *Parkinsonism Relat Disord*. 2012;18(9):1017-21.
38. Sungkarat S, Fisher BE, Kovindha A. Efficacy of an insole shoe wedge and augmented pressure sensor for gait training in individuals with stroke: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil*. 2011;25(4):360-9.
39. Byl N, Zhang W, Coo S, Tomizuka M. Clinical impact of gait training enhanced with visual kinematic biofeedback: Patients with Parkinson's disease and patients stable post stroke. *Neuropsychologia*. 2015;79(Pt B):332-43.
40. Lim SB, Horslen BC, Davis JR, Allum JHJ, Carpenter MG. Benefits of multi-session balance and gait training with multi-modal biofeedback in healthy older adults. *Gait Posture*. 2016;47:10-7.
41. Elshafey MA, Abdrabo MS, Elnaggar RK. Effects of a core stability exercise program on balance and coordination in children with cerebellar ataxic cerebral palsy. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2022;22(2):172-8.
42. Mackie P, Eng JJ. The influence of seated exercises on balance, mobility, and cardiometabolic health outcomes in individuals living with a stroke: A systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil*. 2023;37(7):927-41.
43. Nguyen PT, Chou LW, Hsieh YL. Proprioceptive Neuromuscular Facilitation-Based Physical Therapy on the Improvement of Balance and Gait in Patients with Chronic Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Life*. 2022;12(6):882.
44. Regauer V, Seckler E, Müller M, Bauer P. Physical therapy interventions for older people with vertigo, dizziness and balance disorders addressing mobility and participation: a systematic review. *BMC Geriatr*. 2020;20:494.
45. Arienti C, Lazzarini SG, Pollock A, Negrini S. Rehabilitation interventions for improving balance following stroke: An overview of systematic reviews. *PLOS ONE*. 2019;14(7):e0219781.
46. Lesinski M, Hortobágyi T, Muehlbauer T, Gollhofer A, Granacher U. Effects of Balance Training on Balance Performance in Healthy Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. Vol. 45, *Sports Medicine*. Springer International Publishing; 2015. p. 1721-38.
47. Yoo D, Son Y, Kim DH, Seo KH, Lee BC. Technology-Assisted Ankle Rehabilitation Improves Balance and Gait Performance in Stroke Survivors: A Randomized Controlled Study with 1-Month Follow-Up. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2018;26(12):2315-23.
48. Bahar-Ozdemir Y, Akyuz G, Kalkandelen M, Yumuk PF. The effect of therapeutic exercises on balance, quality of life, and pain in patients who were receiving neurotoxic chemotherapy. *Am J Phys Med Rehabil*. 2020;99(4):291-9.

49. Graves M, Snyder K, McFelea J, Szczepanski J, Smith MP, Strobel T, et al. Quantitative Measurement of the Improvement Derived From a 10-Mo Progressive Exercise Program to Improve Balance and Function in Women at Increased Risk for Fragility Fractures. *J Clin Densitom.* 2020;23(2):286-93.
50. Choi S hun, Lim C gil. Immediate Effects of Ankle Non-elastic Taping on Balance and Gait Ability in Patients With Chronic Stroke: A Randomized, Controlled Trial. *J Manipulative Physiol Ther.* 2020;43(9):922-9.
51. Guerra G, Smith JD. Correlates of Balance and Aerobic Indices in Lower-Limb Prostheses Users on Arm Crank Exercise. *Sensors.* 2021;21(20):6917.
52. Muñoz CG, Holgado MJC. Efectividad de la Wii Fit Balance frente a otras intervenciones para la recuperación del equilibrio en pacientes postictus. Revisión sistemática y metaanálisis. *Rev Neurol.* 2019;69(07):271.
53. Leirós-Rodríguez R, García-Soidán JL, Romo-Pérez V. Analyzing the use of accelerometers as a method of early diagnosis of alterations in balance in elderly people: A systematic review. Vol. 19, *Sensors (Switzerland)*. MDPI AG; 2019.
54. Pacheco TBF, Medeiros CSPD, Oliveira VHBD, Vieira ER, Cavalcanti FACD. Effectiveness of exergames for improving mobility and balance in older adults: A systematic review and meta-analysis. Vol. 9, *Systematic Reviews*. BioMed Central; 2020.
55. Herrero P, Gomez EM, Asensio MA, García E, Casas R, Monserrat E, et al. Study of the therapeutic effects of a hippotherapy simulator in children with cerebral palsy: A stratified single-blind randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2012;26(12):1105-13.
56. Lu CC, Yao HI, Fan TY, Lin YC, Lin HT, Chou PPH. Twelve weeks of a staged balance and strength training program improves muscle strength, proprioception, and clinical function in patients with isolated posterior cruciate ligament injuries. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(23).
57. Luna TD, Santamaria V, Omofuma I, Khan MI, Agrawal SK. Postural Control Strategies in Standing With Handrail Support and Active Assistance From Robotic Upright Stand Trainer (RobUST). *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng Publ IEEE Eng Med Biol Soc.* 2021;29:1424-31.
58. Ding Y, Sivak M, Weinberg B, Mavroidis C, Holden MK. NUVABAT: Northeastern University Virtual Ankle and Balance Trainer. 2010. p. 509-14.
59. Hsieh CC, Lin PS, Hsu WC, Wang JS, Huang YC, Lim AY, et al. The Effectiveness of a Virtual Reality-Based Tai Chi Exercise on Cognitive and Physical Function in Older Adults with Cognitive Impairment. *Dement Geriatr Cogn Disord.* 2018;46(5-6):358-70.
60. Lee MJ, Lee SM. The effect of virtual reality exercise program on sitting balance ability of spinal cord injury patients. *Healthc Switz.* 2021;9(2).
61. Abou L, Malala VD, Yarnot R, Alluri A, Rice LA. Effects of Virtual Reality Therapy on Gait and Balance Among Individuals With Spinal Cord Injury: A Systematic Review and Meta-analysis. *Neurorehabil Neural Repair.* 2020;34(5):375-88.
62. Covarrubias-Escudero F, Rivera-Lillo G, Torres-Castro R, Varas-Díaz G. Effects of body weight-support treadmill training on postural sway and gait independence in patients with chronic spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2019;42(1):57-64.
63. Mattern-Baxter K. Effects of partial body weight supported treadmill training on children with cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther.* 2009;21(1):12-22.

64. Collado-Mateo D, Lavín-Pérez AM, García JPF, García-Gordillo MÁ, Villafaina S. Effects of equine-assisted therapies or horse-riding simulators on chronic pain: A systematic review and meta-analysis. Vol. 56, *Medicina*. MDPI AG; 2020. p. 1-17.
65. Dominguez-Romero JG, Molina-Aroca A, Moral-Munoz JA, Luque-Moreno C, Lucena-Anton D. Effectiveness of Mechanical Horse-Riding Simulators on Postural Balance in Neurological Rehabilitation: Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;17(1):165.
66. Oddsson LIE, Finkelstein MJ, Meissner S. Feasibility of early functional rehabilitation in acute stroke survivors using the Balance-Bed-a technology that emulates microgravity. *Front Syst Neurosci*. 2015;9:83.
67. Van Duijnhoven HJR, Roelofs JMB, Den Boer JJ, Lem FC, Hofman R, Van Bon GEA, et al. Perturbation-Based Balance Training to Improve Step Quality in the Chronic Phase After Stroke: A Proof-of-Concept Study. *Front Neurol*. 2018;9:980.
68. Effects of a wearable exoskeleton stride management assist system (SMA®) on spatiotemporal gait characteristics in individuals after stroke: a randomized controlled trial - PMC. 2024
69. Inoue S, Otaka Y, Kumagai M, Sugawara M, Mori N, Kondo K. Effects of Balance Exercise Assist Robot training for patients with hemiparetic stroke: a randomized controlled trial. *J NeuroEngineering Rehabil*. 2022;19:12.
70. McGrane N, Galvin R, Cusack T, Stokes E. Addition of motivational interventions to exercise and traditional physiotherapy: a review and meta-analysis. *Physiotherapy*. 2015;101(1):1-12.
71. Dijkers MP, Hart T, Tsaousides T, Whyte J, Zanca JM. Treatment Taxonomy for Rehabilitation: Past, Present, and Prospects. *Arch Phys Med Rehabil*. 2014;95(1):S6-16.
72. Veerbeek JM, van Wegen E, van Peppen R, van der Wees PJ, Hendriks E, Rietberg M, et al. What is the evidence for physical therapy poststroke? A systematic review and meta-analysis. *PloS One*. 2014;9(2):e87987.
73. Kwakkel G, Veerbeek JM, van Wegen EEH, Wolf SL. Constraint-induced movement therapy after stroke. *Lancet Neurol*. 2015;14(2):224-34.
74. Fritz SL, Merlo-Rains AM, Rivers ED, Peters DM, Goodman A, Watson ET, et al. An intensive intervention for improving gait, balance, and mobility in individuals with chronic incomplete spinal cord injury: a pilot study of activity tolerance and benefits. *Arch Phys Med Rehabil*. 2011;92(11):1776-84.
75. Liepert J, Bauder H, Wolfgang HR, Miltner WH, Taub E, Weiller C. Treatment-induced cortical reorganization after stroke in humans. *Stroke*. 2000;31(6):1210-6.
76. Molteni F, Gasperini G, Cannaviello G, Guanzioli E. Exoskeleton and End-Effector Robots for Upper and Lower Limbs Rehabilitation: Narrative Review. *PM R*. 2018;10(9 Suppl 2):S174-88.
77. Motealleh A, Yoosefinejad AK, Ghoddosi M, Azhdari N, Pirouzi S. Trunk postural control during unstable sitting differs between patients with patellofemoral pain syndrome and healthy people: A cross-sectional study. *Knee*. 2019;26(1):26-32.
78. Giovannini S, Iacovelli C, Brau F, Loreti C, Fusco A, Caliandro P, et al. RObotic-Assisted Rehabilitation for balance and gait in Stroke patients (ROAR-S): study protocol for a preliminary randomized controlled trial. *Trials*. 2022;23:872.
79. Cikajlo I, Rudolf M, Goljar N, Burger H, Matjačić Z. Telerehabilitation using virtual reality task can improve balance in patients with stroke. *Disabil Rehabil*. 2012;34(1):13-8.

80. Ang WT, Tan UX, Tan HG, Myo T, Ng CK, Koh KL, et al. Design and development of a novel balancer with variable difficulty for training and evaluation. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2008;3(6):325-31.
81. Faria C, Silva J, Campilho A. Rehab@home: a tool for home-based motor function rehabilitation. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2015;10(1):67-74.
82. Kennedy MW, Schmiedeler JP, Crowell CR, Villano M, Striegel AD, Kuitse J. Enhanced feedback in balance rehabilitation using the Nintendo Wii Balance Board. En: 2011 IEEE 13th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services Columbia, MO, USA: IEEE; 2011 [2024]. p. 162-8
83. Carvalho CJ de, Longo GZ, Juvanhol LL, Kakehasi AM, Pereira PF, Segheto KJ, et al. Body composition indices in brazilian adults: Age-specific and sex-specific percentile curves. *Arch Endocrinol Metab.* 2019;63(4):358-68.
84. Kawai H, Taniguchi Y, Seino S, Sakurai R, Osuka Y, Obuchi S, et al. Reference values of gait parameters measured with a plantar pressure platform in community-dwelling older japanese adults. *Clin Interv Aging.* 2019;14:1265-76.
85. Hatton AL, Dixon J, Martin D, Rome K. The effect of textured surfaces on postural stability and lower limb muscle activity. *J Electromyogr Kinesiol.* 2009;19(5):957-64.
86. Mora-Rodriguez C, Herranz Lopez M, Mayoral M, Martínez M, Barraión-Catalán E, Navarro M. *Formación Transversal y Trabajos Fin de Grado Interdisciplinarios.* 2021
87. Weiss JR, Wallerstein N, MacLean T. Organizational Development of a University-Based Interdisciplinary Health Promotion Project. *Am J Health Promot.* 1995;10(1):37-45.
88. Talledo I, González-Fernández N, Manrique Arribas JC, Picos A. Evaluación de Competencias en los Trabajos Fin de Grado o Trabajo Fin de Máster en la Formación Inicial del Profesorado de Educación Física. Diseño y validación de un cuestionario (Evaluation of Competences in the Final Degree Projects or Final Master's Degree Project in the Initial Training of Physical Education Teachers. Design and validation of a questionnaire). *Retos.* 2024;55:353-62.
89. Sakel M, Saunders K, Hodgson P, Stephensen D, Phadke CP, Bassett PA, et al. Feasibility and Safety of a Powered Exoskeleton for Balance Training for People Living with Multiple Sclerosis: A Single-Group Preliminary Study (Rapper III). *J Rehabil Med.* 2022;54.
90. Wang L, Zheng Y, Dang y, Teng M, Zhang X, Cheng Y, et al. Effects of robot-assisted training on balance function in patients with stroke: A systematic review and meta-analysis. *J Rehabil Med.* 2021;53(4):2773.

## 10. ANEXOS

### ANEXO 1. Objetivos de desarrollo sostenible a los que se dirige el TFGi.

<b>OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE</b>	
<p>Se definen como un conjunto de propuestas a nivel global adoptadas por la ONU en 2015, y diseñadas para conseguir un mundo más igualitario y habitable, que goce de sostenibilidad social, económica y ambiental.</p>	
<b>3. SALUD Y BIENESTAR</b>	
	<p><b><i>“Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.”</i></b></p> <p>Mediante el análisis de puntos fuertes y débiles de los dispositivos actuales para trabajar el equilibrio, se pretende diseñar un dispositivo novedoso y económico al que tengan acceso todos los grupos de poblaciones.</p>
<b>8. TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO</b>	
	<p><b><i>“Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos.”</i></b></p> <p>La investigación sobre las características de los dispositivos actuales y creación a partir de las mismas de un nuevo dispositivo, supone un aumento de las oportunidades de empleo y la productividad en las diferentes áreas de trabajo implicadas en todo el proceso hasta que se obtiene el producto final.</p>
<b>9. INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA</b>	
	<p><b><i>“Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.”</i></b></p> <p>Se fomenta la innovación y la industrialización en el campo de la fisioterapia, invirtiendo en tecnologías avanzadas, sostenibles y accesibles a todas las poblaciones y que a su vez, generen empleo e ingresos.</p>
<b>10. REDUCCION DE LAS DESIGUALDADES</b>	
	<p><b><i>“Reducir la desigualdad en y entre los países.”</i></b></p> <p>La desigualdad amenaza el desarrollo social y económico a largo plazo, por lo que crear un dispositivo para el trabajo del equilibrio que sea versátil y accesible, brinda la oportunidad de reducir desigualdades entre pacientes de diferentes regiones, siendo capaces de conseguir que en el ámbito fisioterapéutico, todos los pacientes reciban la mejor e igual atención.</p>

12. CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES	
	<p><b>“Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.”</b></p> <p>Para la realización del dispositivo, se tienen en cuenta el uso de materiales sostenibles, duraderos, reparables y reciclables, a fin de reducir el impacto ambiental y la huella de carbono.</p>
17. ALIANZAS PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS	
	<p><b>“Revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible.”</b></p> <p>A pequeña escala, la unión de dos disciplinas como son la fisioterapia y la ingeniería mecánica supone una potente colaboración con el fin de identificar carencias y problemas emergentes y establecer posibles soluciones para la sociedad.</p>

*Fuente imágenes:* Google imágenes.



## ANEXO 2. Informe de evaluación de investigación responsable de TFG.



### INFORME DE EVALUACIÓN DE INVESTIGACIÓN RESPONSABLE DE 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)

Elche, a 14/12/2023

Nombre del tutor/a	María del Carmen Lillo Navarro
Nombre del alumno/a	Beatriz Serrano Serrano
Tipo de actividad	Sin implicaciones ético-legales
Título del 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)	Análisis de requerimientos para el diseño de un dispositivo para el tratamiento del equilibrio. TFG interdisciplinar.
Evaluación de riesgos laborales	No solicitado/No procede
Evaluación ética humanos	No solicitado/No procede
Código provisional	231213112843
Código de autorización COIR	TFG.GFI.MDCLN.BSS.231213
Caducidad	2 años

Se considera que el presente proyecto carece de riesgos laborales significativos para las personas que participan en el mismo, ya sean de la UMH o de otras organizaciones.

La necesidad de evaluación ética del trabajo titulado: Análisis de requerimientos para el diseño de un dispositivo para el tratamiento del equilibrio. TFG interdisciplinar. ha sido realizada en base a la información aportada en el formulario online: "TFG/TFM: Solicitud Código de Investigación Responsable (COIR)", habiéndose determinado que no requiere ninguna evaluación adicional. Es importante destacar que si la información aportada en dicho formulario no es correcta este informe no tiene validez.

Por todo lo anterior, se autoriza la realización de la presente actividad.

Atentamente,

Alberto Pastor Campos  
Jefe de la Oficina de Investigación Responsable  
Vicerrectorado de Investigación y Transferencia



Información adicional:

- En caso de que la presente actividad se desarrolle total o parcialmente en otras instituciones es responsabilidad del investigador principal solicitar cuantas autorizaciones sean pertinentes, de manera que se garantice, al menos, que los responsables de las mismas están informados.
- Le recordamos que durante la realización de este trabajo debe cumplir con las exigencias en materia de prevención de riesgos laborales. En concreto: las recogidas en el plan de prevención de la UMH y en las planificaciones preventivas de las unidades en las que se integre la investigación. Igualmente, debe promover la realización de reconocimientos médicos periódicos entre su personal; cumplir con los procedimientos sobre coordinación de actividades empresariales en el caso de que trabaje en el centro de trabajo de otra empresa o que personal de otra empresa se desplace a las instalaciones de la UMH; y atender a las obligaciones formativas del personal en materia de prevención de riesgos laborales. Le indicamos que tiene a su disposición el Servicio de Prevención de la UMH para asesorarle en esta materia.

La información descriptiva básica del presente trabajo será incorporada al repositorio público de Trabajos fin de Grado y Trabajos Fin de Máster autorizados por la Oficina de Investigación Responsable de la Universidad Miguel Hernández. También se puede acceder a través de <https://oir.umh.es/solicitud-de-evaluacion/tfg-tfm/>



### **ANEXO 3. Resultado de las mediciones de equilibrio.**

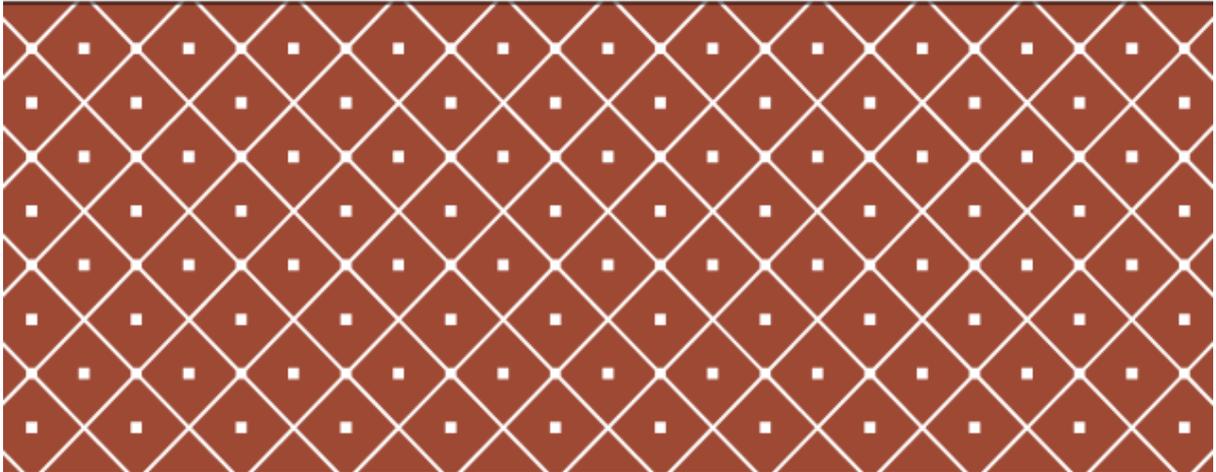
Se evalúa a un grupo de sujetos, compuesto por tres varones y tres mujeres con edades comprendidas entre los 18 y los 50 años.

El procedimiento de medición consiste en la colocación de cada individuo sobre una plataforma oscilante de madera, y mediante grabación de vídeo y toma de fotografías, se evalúa el grado máximo de inclinación y a qué grados se pierde el equilibrio en cada uno de los sujetos, partiendo de una posición inicial y estable de inclinación a 0°, en posición anteroposterior y lateral.

Los resultados de las mediciones se expresan en la tabla siguiente.

<b>MEDICION DEL EQUILIBRIO EN DISTINTAS POSICIONES</b>			
<b>SEXO</b>	<b>EDAD</b>	<b>ANGULO MÁXIMO ANTEROPOSTERIOR</b>	<b>ANGULO MAXIMO LATERAL</b>
Femenino	18	20°	17°
Femenino	23	22°	18°
Femenino	24	21°	18°
Masculino	22	18°	16°
Masculino	23	22°	18°
Masculino	50	19°	15°

## ANEXO 4. Ideas iniciales sobre las necesidades del dispositivo.



# IDEAS SOBRE EL DISPOSITIVO

Beatriz Serrano Serrano



## IDEA GENERAL

¿Qué queremos?

• Dispositivo para trabajar el equilibrio.

- Pocas herramientas
- Uso con pacientes concretos



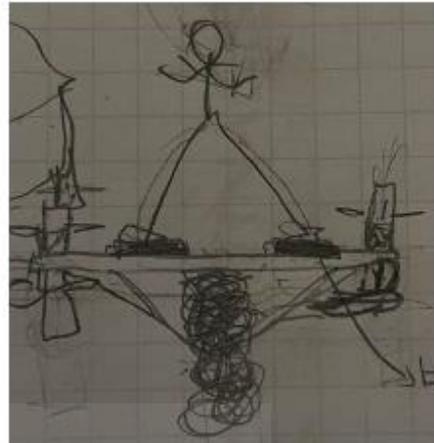
¿Qué necesitamos de él?

- Diferentes pacientes y en diferentes posturas.
- Posibilidad de poner y quitar accesorios de manera rápida.
- Económico
- Seguro
- Posibilidad de desplazarse (ruedas y frenos)
- Altura e inclinación regulables

*Fuente:* Google images

## PRIMER BOCETO

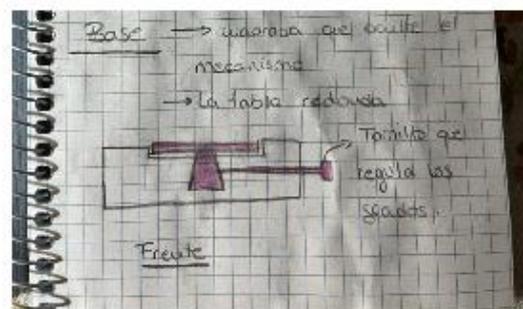
- Base en forma de tabla sujeción en forma de muelle o peonza.
- Topes laterales ajustables.
- Posibilidad de añadir accesorios.



*Fuente:* imagen de elaboración propia.

## 1. BASE DEL DISPOSITIVO

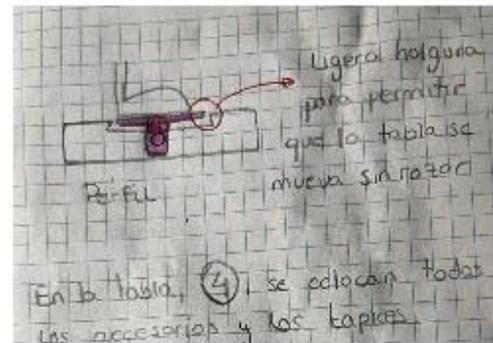
- Base cuadrada tipo caja que oculte el mecanismo que mueva la tabla.
- **Tabla circular**, con holgura alrededor para evitar el roce.
- Con un **tornillo lateral**, se modifican los grados según el paciente.



*Fuente:* imagen de elaboración propia.

## 1. BASE DEL DISPOSITIVO Y ANCLAJES

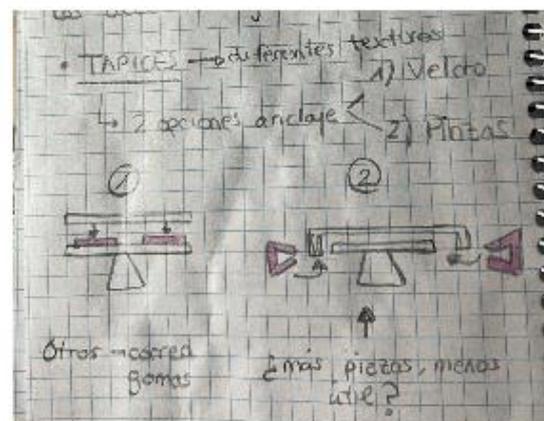
- Añadir sujeto a la tabla (pinzas, velcros...) diferentes tapices con distintas texturas para el trabajo de la propiocepción.
  - Rugosa
  - Acolchada
  - Más suave
  - Etcétera



Fuente: imagen de elaboración propia.

## 2. ACCESORIOS PARA LA BASE: TAPICES

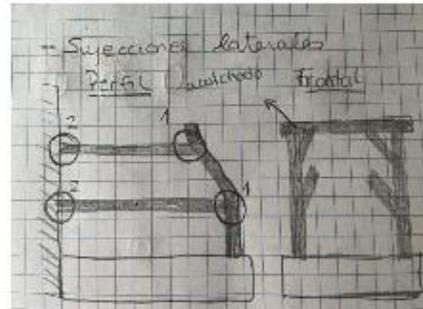
- 1. Tapiz unido con velcros.
- 2. Tapiz unido con pinzas.



Fuente: imagen de elaboración propia.

### 3. SUJECIÓN LATERAL

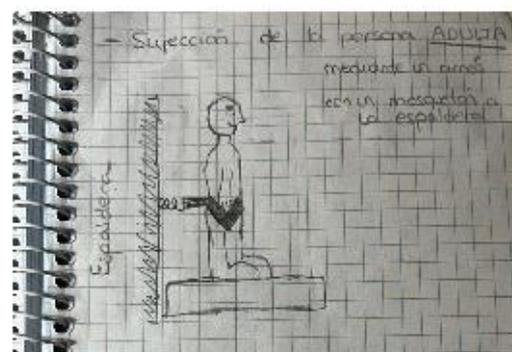
- La base puede llevar barras de aluminio simulando una "jaula" para evitar posibles caídas.
- Altura regulable mediante barras con agujeros.
- Barras superiores con forro acolchado.



*Fuente:* imagen de elaboración propia.

### 3. SUJECIÓN LATERAL

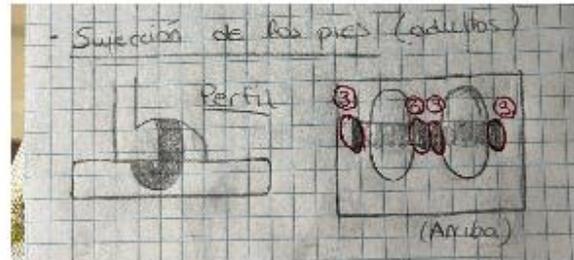
- Sujeción de la persona mediante arnés pélvico anclado a la horizontal.



*Fuente:* imagen de elaboración propia.

## 4. SUJECIÓN DE LOS PIES

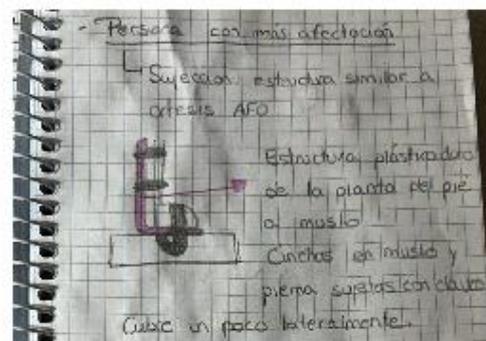
- Sujeción de los pies mediante cinchas con velcro o hebilla.



*Fuente:* imagen de elaboración propia.

## 4. SUJECIÓN DE LOS PIES

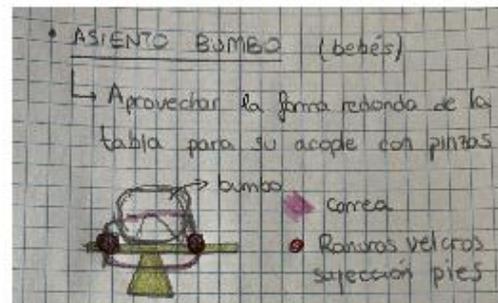
- Añadir estructura similar a **ortesis tipo AFO** de plástico duro.
- Lateralmente se anclan cinchas para la correcta sujeción de las piernas.



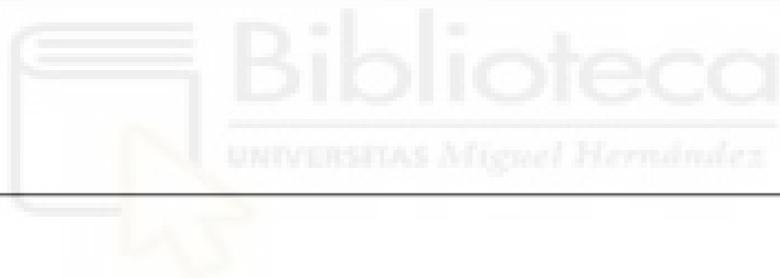
*Fuente:* imagen de elaboración propia.

## 5. TRABAJO EN SEDESTACIÓN CON NIÑOS

- Asiento tipo BUMBO para niños.
- Acople encima de la tabla mediante correas aprovechando las ranuras de las cinchas de la tabla para los pies.



*Fuente:* google images e imagen de elaboración propia.

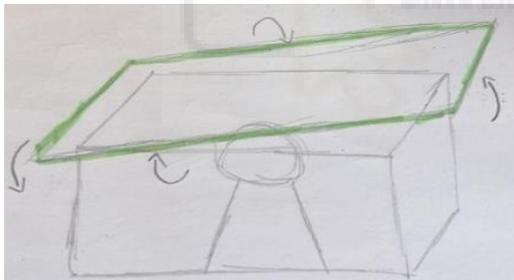
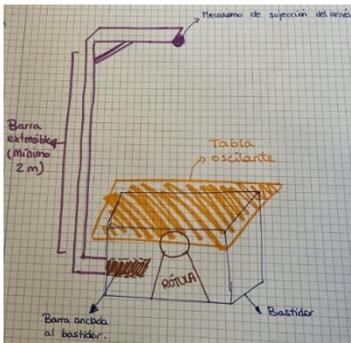


## 6. ACCESORIOS ANEXOS

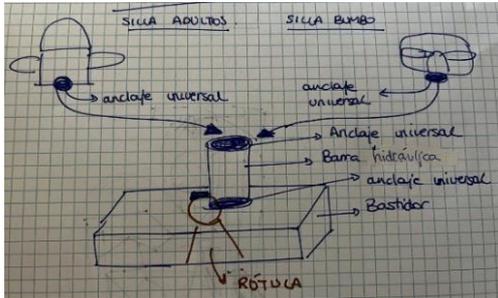
- Posibilidad de acoplar otros accesorios:
  - Básculas para trabajar transferencia de peso y carga parcial.

## ANEXO 5. Características iniciales del dispositivo.

Las características mostradas a continuación son las planteadas inicialmente para el diseño del dispositivo, y que sufrirán modificaciones con el paso de las reuniones con los compañeros de ingeniería mecánica.

<b>CARACTERÍSTICAS DEL DISPOSITIVO</b>	
<b>1. MECANISMO OSCILADOR</b>	
El dispositivo oscilará en el plano anteroposterior y lateral gracias a un mecanismo tipo rótula con capacidad de soporte de unos 300 kilogramos, si se tiene en cuenta el peso de los posibles accesorios y pacientes	
<b>2. BASTIDOR</b>	
El bastidor, será de tamaño suficiente como para proteger la rótula adecuadamente del exterior.	
<b>3. PLATAFORMA OSCILANTE</b>	
	<p>Sobre el bastidor, se colocará una plataforma anexa mediante un anclaje universal, sobre la que se apoyarán los pacientes en bipedestación sin ayuda, pudiendo incluso, texturizarla para el trabajo sinérgico de la propiocepción.</p> <p>Se podrán confeccionar varias plataformas de tamaños diferentes, para usar según el tamaño del paciente con el que se esté trabajando.</p>
<b>4. BARRA EXTENSIBLE LATERAL</b>	
	Unido al bastidor por un lateral, se coloca una barra extensible de altura suficiente, de al menos 2 metros de longitud, a la que se une otra barra transversal en la parte superior, la cual servirá para colocar el dispositivo de sujeción para el arnés de los pacientes en bipedestación con ayuda.

## 5. BARRA EXTENSIBLE CENTRAL



Para el trabajo en sedestación, se coloca en el centro del bastidor una barra extensible de mecanismo sencillo, tipo hidráulico y menor longitud. Sobre ella se colocarán los accesorios necesarios para sentar a los pacientes. Los anclajes serán universales, tanto barra-asientos, barra-bastidor.

## 6. ANCLAJES UNIVERSALES

Los anclajes universales servirán para hacer el acople perfecto entre los accesorios y el nuevo dispositivo, permitiendo más posibilidades de tratamiento y pacientes.

*Fuente imágenes:* imágenes de elaboración propia.





## SEDESTACIÓN SIN SUJECCIÓN

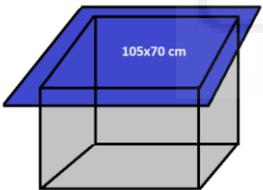
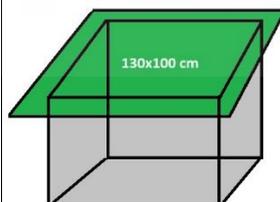
Pacientes adultos y niños con una afectación entre leve y moderada, para trabajar en posiciones de cuadrupedia, caballero, rodillas... de manera a similar a trabajar en el suelo, pero con el componente de inclinación que aporta el dispositivo.

Se pueden incorporar tapices de distintos materiales a la plataforma donde se va a colocar el individuo, para trabajar conjuntamente la propiocepción.

- Tapiz de caucho con textura de pirámides. Antideslizante, de fácil lavado y de grosor suficiente: 6 mm.
- Tapiz de caucho, con textura circular y resistente a la compresión. Antideslizante y de fácil lavado. Grosor 5 mm.
- Tapiz de plastazote, fácilmente lavable, con tecnología diseñada para un bajo crecimiento de bacterias y con textura de baja densidad.



*Fuente:* imagen [www.algeos.com](http://www.algeos.com)

NIÑO		ADULTO	
<p><u>PLATAFORMA OSCILANTE ANEXA</u></p> 	<p>Se usará la plataforma de 105x70 cm, que se unirá al bastidor del dispositivo mediante anclaje universal. Los tapices se colocarán, si se cree conveniente, unidos a esta misma plataforma también mediante anclaje universal.</p>	<p><u>PLATAFORMA OSCILANTE ANEXA</u></p> 	<p>Para pacientes adultos o de mayor tamaño, se usará la plataforma de 130x100cm, que se colocará, con sus tapices, mediante anclaje universal al bastidor.</p>

## BIPEDESTACIÓN CON SUJECCIÓN

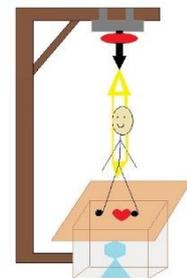
Se usará con pacientes adultos y niños que mantienen con dificultad la bipedestación. Se va a trabajar el equilibrio en esta posición, mediante una plataforma anclada al bastidor y la barra fija lateral, que aporta la seguridad al sujetar los arneses que se le colocan al paciente.

Para el trabajo en bipedestación, también se pueden usar los tapices que recubran la plataforma donde el individuo está trabajando.

Para la sujeción de los arneses, se usarán mosquetones de seguridad con sistema de bloqueo.

Fuente: [https://www.amazon.es/Mosquetones-seguridad-posicionamiento-actividades-](https://www.amazon.es/Mosquetones-seguridad-posicionamiento-actividades-022307001001/dp/B00KBPHYIA/ref=sr_1_14?_mk_es_ES=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&crd=BLQCFAL91YAY&keywords=mosqueton+seguridad&qid=1706637188&s=sports&prefix=mosqueton+seguridad%2Csporting%2C129&sr=1-14)

[022307001001/dp/B00KBPHYIA/ref=sr\\_1\\_14?\\_mk\\_es\\_ES=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&crd=BLQCFAL91YAY&keywords=mosqueton+seguridad&qid=1706637188&s=sports&prefix=mosqueton+seguridad%2Csporting%2C129&sr=1-14](https://www.amazon.es/Mosquetones-seguridad-posicionamiento-actividades-022307001001/dp/B00KBPHYIA/ref=sr_1_14?_mk_es_ES=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&crd=BLQCFAL91YAY&keywords=mosqueton+seguridad&qid=1706637188&s=sports&prefix=mosqueton+seguridad%2Csporting%2C129&sr=1-14)



NIÑO		ADULTO	
<p><u>ARNÉS NIÑO</u></p>  <p>Fuente: <a href="https://www.decathlon.es/es/p/arnes-de-escalada-ninos-simond-spider-kid-tirantes/_/R-p-8927?mc=8333737&amp;c=AZUL_VERDE">https://www.decathlon.es/es/p/arnes-de-escalada-ninos-simond-spider-kid-tirantes/_/R-p-8927?mc=8333737&amp;c=AZUL_VERDE</a></p>	<p>Arnés de niño tipo escalador, con sujeciones en los muslos acolchadas con espuma, para niños entre 4 y 9 años con tejido fácilmente lavable.</p>	<p><u>ARNÉS ADULTO</u></p>  <p>Fuente: <a href="https://mayoreodearticulo.deseguridad.mx/producto/hawk-403-s-l-arnes-de-suspension-poliester-talla-s-l/">https://mayoreodearticulo.deseguridad.mx/producto/hawk-403-s-l-arnes-de-suspension-poliester-talla-s-l/</a></p>	<p>Arnés de adulto tipo escalador, con sujeciones en muslos, caderas y tronco. Fácilmente lavable y ajustable.</p>
<b>BIPEDESTACIÓN SIN SUJECCIÓN</b>			
<p>Posibilidad de trabajo con individuos sanos, como deportistas, afectación leve o sin patología incapacitante que precisen del entrenamiento del equilibrio. Posibilidad de trabajar en apoyo bipodal o monopodal, con ojos abiertos, cerrados...</p>			
<b>NIÑO</b>		<b>ADULTO</b>	
<p>Solo son necesarias las plataformas anteriormente descritas, según el tamaño del individuo, ancladas al bastidor. Con la posibilidad de poner tapices para el trabajo de la propiocepción con el paciente descalzo.</p>			

## ANEXO 7. Contenido de las reuniones.

### **REUNIÓN 1. 14/10/2023**

- Primera reunión entre las estudiantes, que sirve para conocernos y poner en común preferencias en cuanto a líneas de trabajo.

### **REUNIÓN 2. 24/10/2023**

- Primera reunión de la estudiante de fisioterapia con la tutora, que actúa también como coordinadora de todo el proyecto. El objetivo es definir la forma de trabajo que se va a seguir durante los siguientes meses, plazos de entrega y de más información relevante.

### **REUNIÓN 3. 2/11/2023**

- Reunión entre las dos estudiantes para dar las primeras ideas sobre el tema de trabajo.

### **REUNIÓN 4. 6/11/2023**

- Tercera reunión entre las dos estudiantes, donde el objetivo es seguir proponiendo ideas de trabajo.

### **REUNIÓN 5. 7/11/2023**

- En esta ocasión, se reúnen las dos estudiantes con la coordinadora y tutora de fisioterapia, con el claro objetivo de concretar el tema tras la lluvia de ideas de reuniones anteriores. Surge por primera vez la idea de trabajar el equilibrio y control de tronco mediante asientos inestables.

### **REUNIÓN 6. 13/11/2023**

- Cuarta reunión entre ambas estudiantes. Se apuesta por la idea de crear un dispositivo nuevo para el trabajo del equilibrio y por tanto, se definen las tareas a realizar para ponerlas en común en un plazo de 10 días: buscar dispositivos actuales para tal fin por parte de fisioterapia y buscar posibles mecanismos, bases, materiales... por parte de ingeniería mecánica.

**REUNIÓN 7. 22/11/2023**

- Quinta reunión entre estudiantes. Se pone en común el trabajo realizado por cada una de las integrantes, pautado en la reunión anterior.

**REUNIÓN 8. 11/12/2023**

- Reunión con la tutora de fisioterapia para aclarar aspectos de organización y contenidos del trabajo.

**REUNIÓN 9. 13/12/2023**

- Reunión con la tutora de fisioterapia para solicitar documentación propia del TFG, centrar el tema y definir primeros objetivos a realizar.

**REUNIÓN 10. 19/12/2023**

- Primera reunión de los cuatro integrantes del equipo, con el objetivo de poner en común las necesidades que se tienen, y ver se pueden solventar conjuntamente.

**REUNIÓN 11. 11/01/2024**

- Reunión entre tutora y estudiante de fisioterapia. Se definen más concretamente las necesidades del dispositivo en base a las búsquedas bibliográficas.

**REUNIÓN 12. 29/01/2024**

- Reunión entre estudiantes y tutores, con el objetivo de poner en común el trabajo que se ha avanzado por ambas partes.

**REUNIÓN 13. 16/04/2024**

- Reunión de control sobre los avances del trabajo con la tutora.

**ANEXO 8. Coste del dispositivo.**

<b>PRESUPUESTO DISPOSITIVO</b>			
<b>MECANISMO INTERNO</b>			
<b>Accesorio</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio</b>	
		<b>Unitario</b>	<b>Total</b>
<b>Rótula</b>	1	27,94	27,94
<b>Bielas</b>	5	6,64	33,2
<b>Horquilla</b>	3	7,5	22,5
<b>Bisagras</b>	Perfiles 1m acero	12,5	12,5
<b>Amortiguadores de aceite</b>	2	6,85	13,7
<b>Bastidor</b>	3m de acero	12,5	37,5
<b>Embellecedor</b>	4 hojas de acero 50 cm	8,5	34
<b>Base</b>	1 hoja de acero 100 cm	22,8	22,8
<b>Anclajes universales</b>	7	34,95	244,65
<b>Pernos</b>	10	0,4	4
<b>ACCESORIOS PARA LA BIPEDESTACIÓN</b>			
<b>Acero plataformas oscilantes</b>	2	41,62	83,24
<b>Tapiz textura piramidal</b>	2	16,33	32,66
<b>Tapiz textura plastazote</b>	2	11,62	23,24
<b>Mosquetones</b>	4	9,99	39,96
<b>Arnés adulto</b>	1	75,96	75,96
<b>Polea eléctrica</b>	1	104	104
<b>Barra lateral</b>	Perfil 2,5m de acero	31,25	31,25
<b>Arnés niño</b>	1	34,99	34,99
<b>ACCESORIOS PARA LA SEDESTACIÓN</b>			
<b>Bumbo Floor Seat ®</b>	1	66,93	66,93
<b>Portaniños bicicleta</b>	1	50	50
<b>Silla de ruedas escritorio</b>	1	229,90	229,9
<b>Chaleco retropectoral</b>	1	30	30
<b>TOTAL:</b>			<b>1254,92</b>