



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO FOMENTO DE LA BIPEDESTACIÓN PASIVA EN NIÑOS CON DISCAPACIDAD MOTORA O MOVILIDAD REDUCIDA

Autor: Raquel López Duro
Director: Carlos Sanz Jimeno

Madrid
Junio de 2025

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Fomento de la bipedestación pasiva en niños con discapacidad motora o movilidad
reducida

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2024/25 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Raquel López Duro

Fecha: 21/ 06/ 2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Carlos Sanz Jimeno

Fecha: 21/ 06/ 2025



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO FOMENTO DE LA BIPEDESTACIÓN PASIVA EN NIÑOS CON DISCAPACIDAD MOTORA O MOVILIDAD REDUCIDA

Autor: Raquel López Duro
Director: Carlos Sanz Jimeno

Madrid
Junio de 2025

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mi familia, por su amor incondicional y constante apoyo en cada etapa de este camino; a mi tutor, por su guía académica y compromiso durante todo el proceso; y a mis amigos, por estar presentes con palabras de ánimo, por su paciencia y comprensión.

FOMENTO DE LA BIPEDESTACIÓN PASIVA EN NIÑOS CON DISCAPACIDAD MOTORA O MOVILIDAD REDUCIDA.

Autor: López Duro, Raquel

Director: Sanz Jimeno, Carlos

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Palabras clave: bipedestador, discapacidad motora, elevación vertical, simulación estructural, transferencia, sujeción de cabeza, acople de mesa, análisis de elementos finitos.

1. Introducción

El presente proyecto surge para mejorar la calidad de vida de Daniela, una niña de siete años con discapacidad motora que utiliza diariamente un bipedestador pasivo *Standz JENX Jiraffe*. Este dispositivo es fundamental para su desarrollo físico, psicológico y social, pero presenta tres limitaciones clave: dificultad para posicionar a Daniela a medida que crece, falta de sujeción adecuada de la cabeza cuando se fatiga y un sistema de acople de la mesa poco funcional en la posición decúbito prono. El trabajo responde a la petición de su familia, con el objetivo de aportar soluciones técnicas que puedan beneficiar a otros niños en situaciones similares.

2. Definición del proyecto

El proyecto consiste en el rediseño y mejora del bipedestador *Standz*, abordando los tres problemas identificados. Se plantean tres soluciones principales: un sistema de elevación asistido por pistón de gas para facilitar el posicionamiento, un accesorio de sujeción de cabeza que permita movilidad y estabilidad, y un nuevo sistema de acople para la mesa que mejore su funcionalidad en ambas posiciones. El enfoque metodológico incluye análisis de necesidades, consulta con expertos, diseño 3D, simulaciones estructurales y validación técnica, asegurando la compatibilidad con el dispositivo existente y la facilidad de implementación para usuarios y cuidadores.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

Sistema de basculación: Se rediseña la estructura base del bipedestador para incorporar un pistón de gas de doble efecto (50 mm de diámetro, 200 mm de carrera) que permite bajar y subir el dispositivo de forma segura y reduzca el esfuerzo necesario para posicionar a Daniela en el bipedestador, facilitando la transferencia del usuario desde silla de ruedas o cama. El diseño incluye una barra extensible y refuerzos laterales para garantizar la estabilidad estructural.



Ilustración 1: Conjunto basculación.

Sujeción de Cabeza: Se desarrolla un accesorio tipo headpod compuesto por un soporte de aluminio, banda de acero inoxidable recubierta de materiales confortables y cuerda de HMPE, permitiendo la sujeción dinámica de la cabeza con libertad de giro y evitando caídas hacia adelante cuando el usuario se fatiga.



Ilustración 2: Conjunto sujeción de cabeza.

Acople de Mesa: El nuevo sistema de acoplamiento divide el soporte en tres piezas (dos fijas y una móvil con dientes y muelle), permitiendo ajustar la inclinación de la mesa y asegurar su estabilidad tanto en decúbito prono como supino.

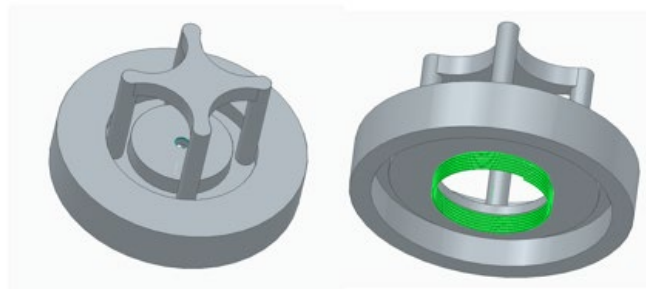


Ilustración 3: Conjunto acople mesa.

4. Resultados

Las soluciones propuestas fueron modeladas en 3D y sometidas a análisis de elementos finitos (FEA) para validar su resistencia, estabilidad y funcionalidad.

Sistema de basculación: Los resultados muestran que la estructura soporta cargas de hasta 60 kg, con un factor de seguridad superior a 1,7 y que la estructura es estable, con un desplazamiento máximo de 0,039 mm.

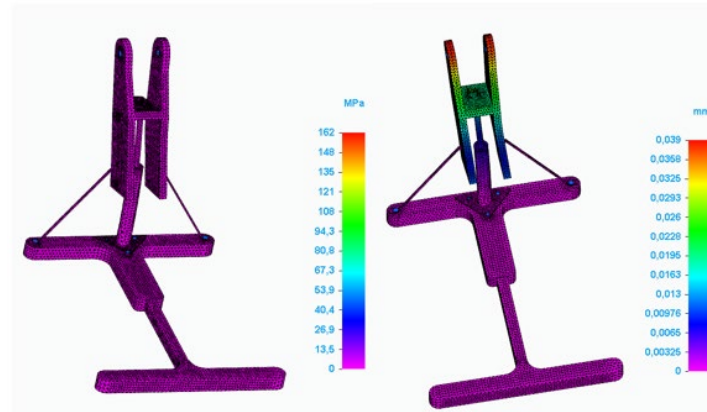


Ilustración 4: Resultado análisis de tensión (a la izquierda) y de traslación (a la derecha).

Sujeción de cabeza: El análisis por elementos finitos del dispositivo de sujeción de cabeza muestra que, bajo una carga de 100 N, la cuerda de HMPE alcanza una tensión máxima de 2150 MPa (factor de seguridad 1,16) y la banda de acero 316L, una tensión máxima de 289 MPa (factor de seguridad 1,00), valores considerados aceptables dada la distribución real de tensiones en los nudos.

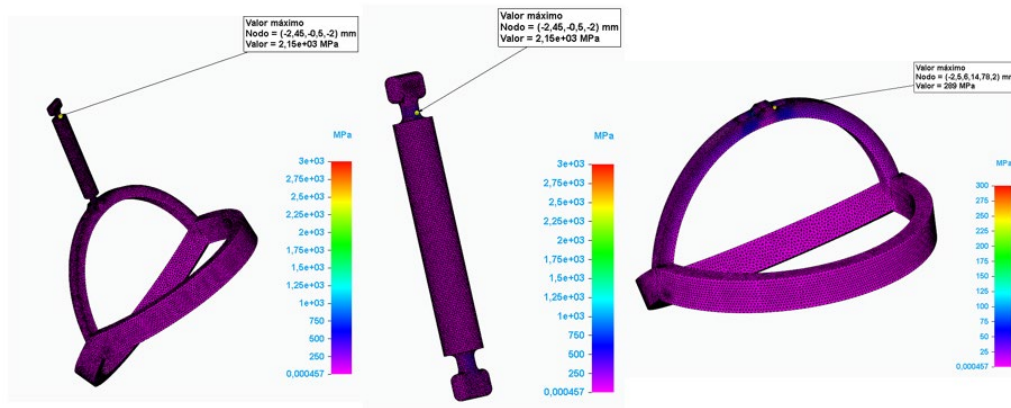


Ilustración 5: Resultado análisis de tensión.

Acople mesa: El nuevo sistema de acople de mesa soporta cargas de hasta 20 kg, con una deformación máxima de 0,24 mm y un factor de seguridad de 1,9 según simulaciones FEA. La modularidad del diseño permite ajustar la inclinación de la mesa de manera sencilla y segura, mejorando la funcionalidad tanto en decúbito prono como supino.

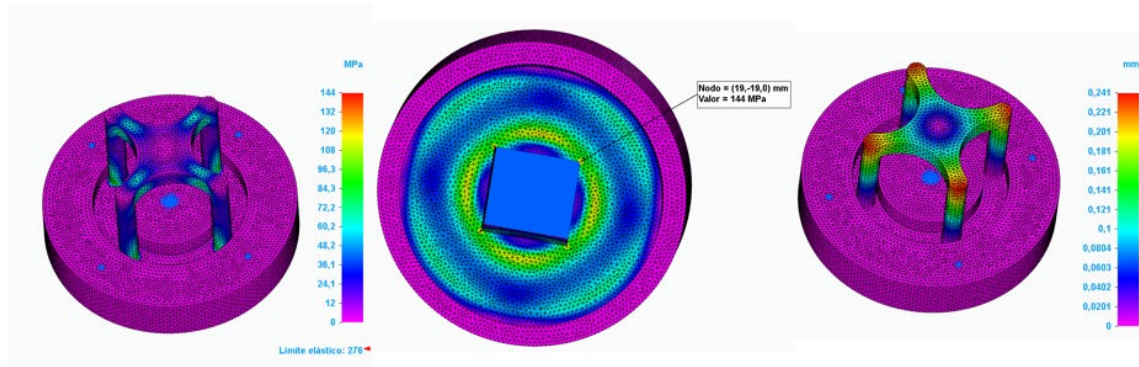


Ilustración 6: Resultado análisis de tensión (a la izquierda) y de traslación (a la derecha).

5. Conclusiones

El desarrollo de mejoras técnicas para el bipedestador *Standz JENX Jiraffe*, centrado en las necesidades reales de una niña con discapacidad motora severa, ha permitido avanzar hacia soluciones personalizadas que integran ingeniería, ergonomía y colaboración interdisciplinar. Este enfoque demuestra la importancia de la participación activa de los usuarios y cuidadores en el diseño asistencial, y sienta un precedente para la creación de tecnologías más inclusivas y adaptables, con potencial para impactar positivamente en la calidad de vida de otros niños y niñas en situaciones similares.

6. Referencias

- [1] B. Nordström, L. Nyberg, L. Ekenberg, and A. Näslund, "The psychosocial impact on standing devices," *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.*, vol. 9, no. 4, pp. 299–306, 2014, doi: 10.3109/17483107.2013.807443.
- [2] G. Paleg, B. A. Smith, and L. B. Glickman, "Systematic review and evidence-based clinical recommendations for dosing of pediatric supported standing programs," *Pediatr. Phys. Ther.*, vol. 25, no. 3, pp. 232–247, Sep. 2013, doi: 10.1097/PEP.0b013e318299d5e7.
- [3] J. Goodwin, A. Colver, A. Basu, S. Crombie, D. Howel, J. R. Parr, E. McColl, N. Kolehmainen, A. Roberts, J. Lecouturier, J. Smith, K. Miller, and J. Cadwgan, "Understanding frames: A UK survey of parents and professionals regarding the use of standing frames for children with cerebral palsy," *Child: Care, Health and Development*, vol. 44, no. 5, pp. 689–696, 2018, doi: 10.1111/cch.12505.
- [4] Rehagirona, "Standz – Prone/Supine Standing Frame – Two sizes," rehagirona.com, 2025, [Online]. Available: <https://www.rehagirona.com/products/bipedestador-prono-supino-standz-2-tallas/>.

PROMOTING PASSIVE STANDING IN CHILDREN WITH MOTOR DISABILITIES OR REDUCED MOBILITY.

Author: López Duro, Raquel

Supervisor: Sanz Jimeno, Carlos.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

ABSTRACT

Keywords: Standing frame, motor disability, vertical elevation, structural simulation, transfer, head support, table coupling, finite element analysis.

1. Introduction

This project was developed to improve the quality of life of Daniela, a seven-year-old girl with a motor disability who uses a *Standz JENX Jiraffe* passive standing frame daily. This device is essential for her physical, psychological, and social development, but it presents three main limitations: difficulty in positioning Daniela as she grows, lack of adequate head support when she becomes fatigued, and a table coupling system that is not functional in the prone position. This project responds to a request from her family, aiming to provide technical solutions that could benefit other children in similar situations.

2. Project Definition

The project consists of redesigning and improving the *Standz* standing frame by addressing the three identified issues. Three main solutions are proposed: a gas piston-assisted elevation system to facilitate positioning, a head support accessory that allows mobility and stability, and a new table coupling system that improves functionality in both positions. The methodological approach includes needs analysis, consultation with experts, 3D design, structural simulations, and technical validation, ensuring compatibility with the existing device and ease of implementation for users and caregivers.

3. Description of the Model/System/Tool Results

Tilting System: The base structure of the standing frame is redesigned to incorporate a double-acting gas piston (50 mm diameter, 200 mm stroke), enabling safe raising and lowering of the device and reducing the effort required to position Daniela, thus facilitating transfer from a wheelchair or bed. The design includes an extendable bar and lateral reinforcements to ensure structural stability.

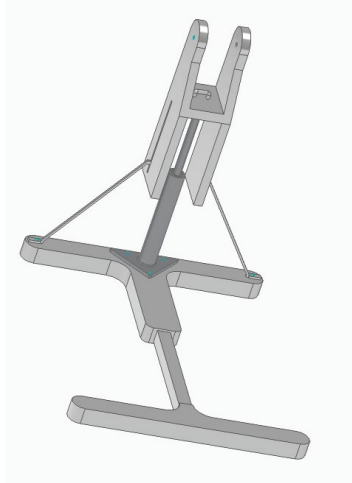


Illustration 1: Tilting assembly.

Head Support: A headpod-type accessory is developed, consisting of an aluminum support, a stainless steel band covered with comfortable materials, and HMPE rope, allowing dynamic head support with freedom of rotation and preventing forward falls when the user is fatigued.



Illustration 2: Head support assembly.

Table Coupling: The new coupling system divides the support into three pieces (two fixed and one movable with teeth and a spring), allowing the table's inclination to be adjusted and ensuring its stability in both prone and supine positions.

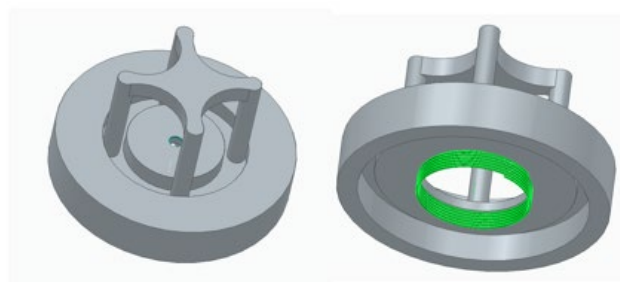


Illustration 3: Table coupling assembly.

4. Results

The proposed solutions were modeled in 3D and subjected to finite element analysis (FEA) to validate their strength, stability, and functionality.

Tilting System: Results show that the structure supports loads up to 60 kg, with a safety factor greater than 1.7 and a maximum displacement of 0.039 mm.

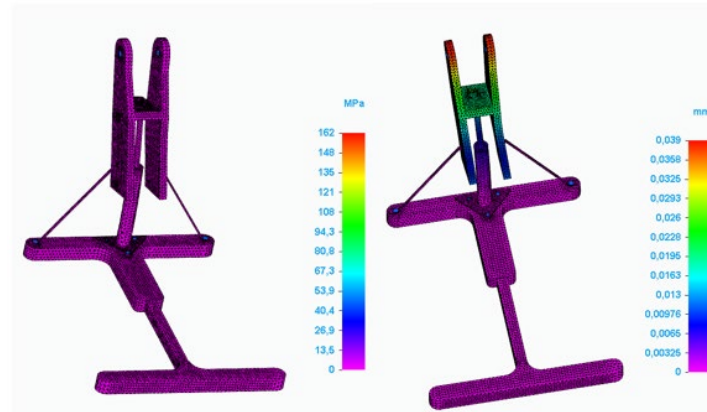


Illustration 4: Result of stress analysis (on the left) and displacement (on the right).

Head Support: The finite element analysis of the head support device shows that, under a load of 100 N, the HMPE rope reaches a maximum stress of 2150 MPa (safety factor 1.16) and the 316L steel band, a maximum stress of 289 MPa (safety factor 1.00), values considered acceptable given the actual distribution of stresses in the knots.

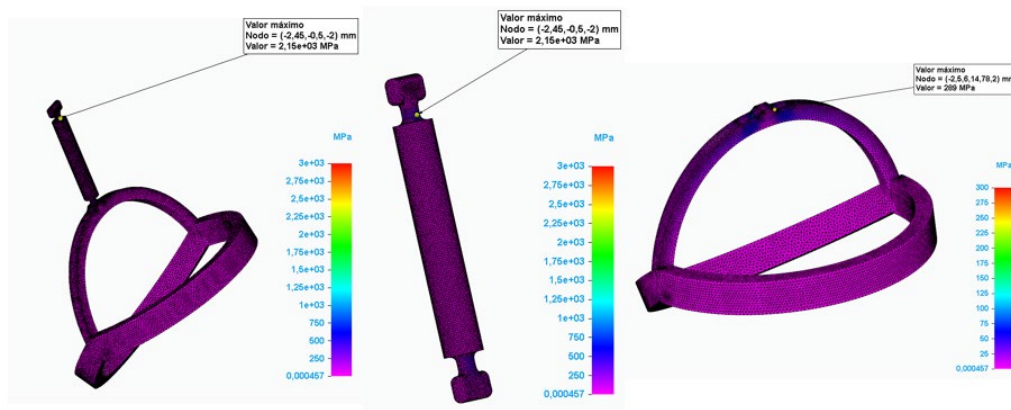


Illustration 5: Result of stress analysis.

Table Coupling: The new table coupling system supports loads up to 20 kg, with a maximum deformation of 0.24 mm and a safety factor of 1.9 according to FEA simulations. The modularity of the design allows the table's inclination to be adjusted easily and safely, improving functionality in both prone and supine positions.

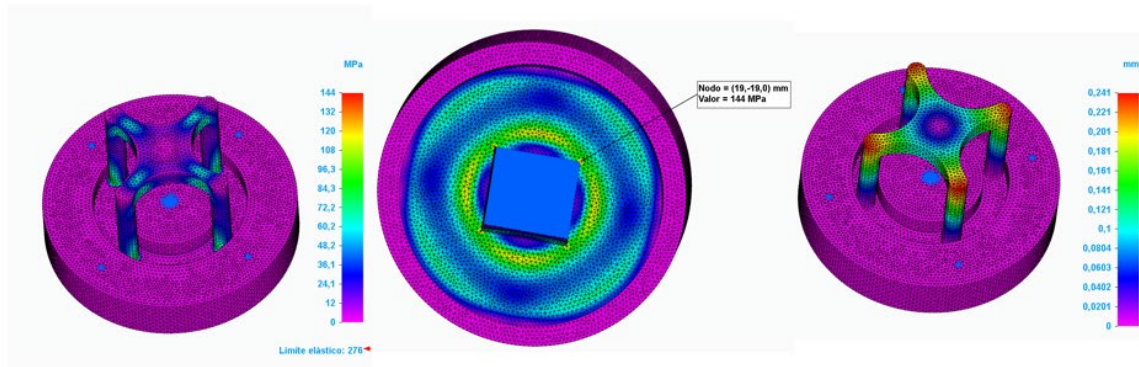


Illustration 6: Result of stress analysis (on the left) and displacement (on the right).

5. Conclusions

The development of technical enhancements for the Standz JENX Jiraffe standing frame, centered on the real-world needs of a child with severe motor disabilities, has advanced personalized solutions integrating engineering, ergonomics, and interdisciplinary collaboration. This approach underscores the critical role of active involvement from users and caregivers in assistive technology design, establishing a framework for developing more inclusive and adaptable innovations. These advancements hold significant potential to improve quality of life for children with similar challenges, demonstrating how user-centered methodologies can drive transformative outcomes in pediatric rehabilitation technologies.

6. References

- [1] B. Nordström, L. Nyberg, L. Ekenberg, and A. Näslund, "The psychosocial impact on standing devices," *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.*, vol. 9, no. 4, pp. 299–306, 2014, doi: 10.3109/17483107.2013.807443.
- [2] G. Paleg, B. A. Smith, and L. B. Glickman, "Systematic review and evidence-based clinical recommendations for dosing of pediatric supported standing programs," *Pediatr. Phys. Ther.*, vol. 25, no. 3, pp. 232–247, Sep. 2013, doi: 10.1097/PEP.0b013e318299d5e7.
- [3] J. Goodwin, A. Colver, A. Basu, S. Crombie, D. Howel, J. R. Parr, E. McColl, N. Kolehmainen, A. Roberts, J. Lecouturier, J. Smith, K. Miller, and J. Cadwgan, "Understanding frames: A UK survey of parents and professionals regarding the use of standing frames for children with cerebral palsy," *Child: Care, Health and Development*, vol. 44, no. 5, pp. 689–696, 2018, doi: 10.1111/cch.12505.
- [4] Rehagirona, "Standz – Prone/Supine Standing Frame – Two sizes," rehagirona.com, 2025, [Online]. Available: <https://www.rehagirona.com/products/bipedestador-prono-supino-standz-2-tallas/>.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	7
Capítulo 2. Estado del arte	11
Capítulo 3. Definición del trabajo.....	15
3.1 Motivación	15
3.2 Objetivos	16
3.3 Metodología.....	16
3.4 Planificación.....	19
Capítulo 4. Formalización de ideas	21
4.1 Obtención de ideas	21
4.2 Ideas a diseñar	23
4.2.1 Sistema de basculación.....	23
4.2.2 Dispositivo para la sujeción de cabeza	26
4.2.3 Accesorio adicional: acople mesa.....	28
Capítulo 5. Sistema de basculación	29
5.1 Diseño.....	29
5.2 Dimensionamiento.....	36
5.3 Simulación y análisis de resultados.....	41
Capítulo 6. Sujeción de la cabeza	47
6.1 Diseño.....	47
6.2 Dimensionamiento.....	50
6.3 Simulación y análisis de resultados.....	53
Capítulo 7. Accesorio adicional: acople mesa.....	59
7.1 Diseño.....	59
7.2 Dimensionamiento.....	63
7.3 Simulación y análisis de resultados.....	66
Capítulo 8. Presupuesto y Viabilidad Económica	75
Capítulo 9. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	83

<i>Capítulo 10. Bibliografía.....</i>	<i>87</i>
<i>ANEXO I: Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....</i>	<i>91</i>
<i>ANEXO II: ISO 15552 Double Acting Cylinder 50-200mm - Magnetic - Damping.....</i>	<i>93</i>
<i>ANEXO III: Planos.....</i>	<i>97</i>

Índice de figuras

Figura 1: Bipedestador <i>Standz J E N X Jiraffe</i> .	8
Figura 2: Productos destacados de JENX.	12
Figura 3: Estructura bipedestador <i>Standz</i> , incluye la mesa adicional.	14
Figura 4: Cronograma de ejecución del proyecto.	19
Figura 5: Ideas planteadas	21
Figura 6: Estructura existente del soporte del bipedestador.	24
Figura 7: Boceto ajustes de estabilidad.	25
Figura 8: Sujetador cefálico.	26
Figura 9: Headpod.	27
Figura 10: Despiece mesa adicional	28
Figura 11: Barra comprimida al máximo.	29
Figura 12: Barra extendida al máximo.	30
Figura 13: Vista 3D carcasa.	31
Figura 14: Vista lateral carcasa. Se muestran los carriles.	31
Figura 15: Refuerzo lateral para la estabilidad.	32
Figura 16: Base del bipedestador.	32
Figura 17: Conjunto base, refuerzo, carcasa.	32
Figura 18: Cilindro exterior pistón de gas.	33
Figura 19: Vástago pistón de gas.	33
Figura 20: Base inferior pistón de gas.	34
Figura 21: Conjunto pistón de gas.	34
Figura 22: Conjunto sistema basculación.	35
Figura 23: Restricciones aplicadas (conjunto basculación).	41
Figura 24: Conectores aplicados (conjunto basculación).	42
Figura 25: Fuerzas aplicadas (conjunto basculación).	42
Figura 26: Presión del pistón cuando éste está extendido.	43
Figura 27: Análisis de tensión de VM (sistema basculación).	44
Figura 28: Tensión máxima de VM (sistema de basculación).	45
Figura 29: Traslación total (sistema de basculación).	46

Figura 30: Pieza 1 sujeción cabeza: soporte.....	47
Figura 31: Pieza 2 sujeción de cabeza: banda.	48
Figura 32: Pieza 3 sujeción de cabeza: cuerda.	48
Figura 33: Conjunto final sujeción cabeza.	49
Figura 34: Conjunto simulación.	53
Figura 35: Distribución de tensión de VM (sujeción cabeza).	54
Figura 36: Distribución de tensión VM cuerda.	55
Figura 37: Punto crítico cuerda.	55
Figura 38: Distribución de tensión VM banda.	56
Figura 39: Punto crítico banda.	56
Figura 40: Pieza 1 vista desde arriba.....	59
Figura 41: Pieza 1 vista desde abajo.....	60
Figura 42: Pieza 2.....	60
Figura 43: Pieza 3 vista desde arriba.....	61
Figura 44: Interior pieza 3.	61
Figura 45: conjunto final acople mesa.....	62
Figura 46: Conjunto final acople mesa sin la pieza 1 para mostrar el muelle.....	62
Figura 47: Cargas debidas al peso sobre la mesa.	66
Figura 48: Fuerza ejercida por el muelle.....	67
Figura 49: Restricciones aplicadas (acople mesa).....	67
Figura 50: Simulación tensión VM vista desde arriba (acople mesa).	68
Figura 51: Simulación tensión VM vista desde abajo (acople mesa).....	69
Figura 52: Puntos de tensión máxima (acople mesa).	70
Figura 53: Traslación total vista exagerada (acople mesa).....	71
Figura 54: Traslación total vista exagerada 2 (acople mesa).....	71
Figura 55: Traslación total vista real (acople mesa).....	72
Figura 56: Traslación total vista real 2 (acople mesa).....	72
Figura 57: ODS relacionados con el proyecto.....	91
Figura 58: ISO 15552 Double Acting Cylinder 50-200mm – Magnetic - Damping.....	93
Figura 59: Funcionamiento pistón de doble efecto.	94

Índice de tablas

Tabla 1: Cargas a soportar	36
Tabla 2: Parámetros clave para el pistón a determinar, siguiendo norma ISO 15552.....	37
Tabla 3: Características clave pistón utilizado.	39
Tabla 4: Materiales pistón utilizado.	39
Tabla 5: Datos pistón cálculo pandeo.....	40
Tabla 6: Perímetro craneal de una niña de siete años.....	50
Tabla 7: Materiales propuestos sujeción cabeza.....	52
Tabla 8: Módulo de elasticidad de los materiales (sujeción de cabeza).....	57
Tabla 9: Datos tornillos mesa	64
Tabla 10: Presupuesto específico para el cliente.....	75
Tabla 11: Presupuesto orientado a empresa de una unidad (se pueden comparar los valores que aumentan).....	79
Tabla 12: Presupuesto estimado con una producción de 150 unidades.....	80
Tabla 13: Coste total e ingresos estimados primer año (150 unidades).	81
Tabla 14: VAN y TIR (5 años, 10%, 150 uds/año).	81

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Daniela es una niña de siete años que tiene una discapacidad motora y presenta un alto grado de dependencia. Como parte de su rutina diaria, se pasa varias horas al día en un bipedestador pasivo. Este dispositivo médico no solo le ayuda a fortalecer sus músculos y huesos, sino que también mejora su circulación sanguínea y le permite mantener una postura erguida. Además, utilizar este mecanismo tiene sobre ella un impacto significativo psicológico. Al permitirle estar de pie, Daniela puede interactuar más fácilmente con los demás y participar en actividades cotidianas, educativas y recreativas, lo que enriquece su calidad de vida.

Un bipedestador pasivo es un dispositivo médico diseñado para ayudar a personas con movilidad reducida a ponerse de pie, mantener una postura erguida y realizar actividades en esta posición de forma segura. Los bipedestadores pasivos están compuestos por soportes ajustables para el tronco, pelvis y extremidades inferiores, asegurando una correcta alineación postural y distribuyendo el peso de manera uniforme. Estos dispositivos proporcionan una gran variedad de beneficios tanto terapéuticos como psicológicos. Por ello los bipedestadores pasivos son utilizados comúnmente en terapias de rehabilitación, tanto en centros fisioterapéuticos como en los domicilios de los usuarios [1] [2] [3] .

Este proyecto fin de grado surge de la iniciativa de Carlos, el padre de Daniela, quien ha identificado ciertas limitaciones en el bipedestador pasivo que su hija utiliza diariamente. En su hogar, la familia de Daniela tiene el bipedestador Standz J E N X Jiraffe, mostrado en la Figura 1.



Figura 1: Bipedestador *Standz J E N X Jiraffe*.

Éste destaca por su diseño funcional y su versatilidad. Permite los posicionamientos decúbito prono y decúbito supino, es regulable en altura y permite la abducción de cada una de las piernas hasta treinta grados unilateralmente. Además, el dispositivo ofrece una variedad de accesorios adicionales a gusto del consumidor como una mesa, un respaldo para la cabeza, o un soporte adicional para los hombros [4].

Sin embargo, Carlos ha detectado tres problemas significativos con el dispositivo actual y por ello ha propuesto este proyecto a la Fundación de Ingenieros de ICAI. El primer problema es subir a su hija al bipedestador. A medida que Daniela crezca, su peso aumenta, haciendo muy complicado elevarla hasta la base del dispositivo para poder colocarla en la posición correcta. El segundo desafío con el que se ha encontrado es la sujeción de la cabeza de Daniela. Al comienzo del día su hija está motivada y se mantiene erguida gracias a los soportes del tronco y de la pelvis, sin embargo, a medida que avanza el tiempo, Daniela comienza a cansarse y ahí es donde surge el problema. Una vez cansada, a Daniela se le cae la cabeza hacia adelante y hacia los lados. Por ello Carlos propone diseñar un dispositivo que la fuerce a estar en la posición correcta y que a su vez le permita el giro hacia ambos lados. El tercer problema para solucionar radica en que la mesa adicional que el producto ofrece no se acopla bien en posición decúbito prono, se busca, por tanto, diseñar un nuevo sistema de acoplamiento que permita aprovechar al máximo la mesa.

Este proyecto tiene como objetivo principal mejorar significativamente la calidad de vida de Daniela, abordando estas limitaciones y creando soluciones innovadoras que puedan beneficiar no solo a ella, sino también a otras personas que enfrentan desafíos similares. Al combinar tecnología y diseño centrado en el usuario, se pretende desarrollar un sistema más eficiente, seguro y cómodo para Daniela y su familia, mejorando su experiencia diaria con el bipedestador pasivo.

Capítulo 2. ESTADO DEL ARTE

Los programas de bipedestación pasiva son un método de terapia muy recomendado entre los niños con discapacidad motora [5]. Se han comercializado varios dispositivos diseñados para facilitar el desarrollo físico y cognitivo de las personas neurodivergentes. Según las necesidades de los usuarios, existen bipedestadores con diferentes funcionalidades. Entre estos destacan los bipedestadores MINI STANDY DJ [6], el bipedestador de *Supace* y el bipedestador *Standz*. El primero está diseñado para niños con parálisis cerebral que requieren estimulación neuromotora. En esta marca destaca el dispositivo MINI STANDY DJ, que permite que el niño tenga una experiencia multisensorial a través de un sistema electrónico que convierte señales de audio y vídeo en vibraciones. Por otro lado, los bipedestadores de *Supace* y de *Standz* están diseñados para niños con dificultades para mantenerse de pie y proporcionan al usuario el apoyo necesario para adoptar una posición erguida. Ambas marcas tienen modelos que adquieren las posiciones decúbito supino y decúbito prono [7].

El uso de un bipedestador pasivo proporciona una amplia gama de beneficios. Por un lado, presenta una serie de beneficios terapéuticos. Al adoptar una postura vertical, se mejora la circulación sanguínea, se favorece el fortalecimiento del sistema óseo y favorece el desarrollo musculoesquelético. Además de los beneficios físicos, el bipedestador pasivo tiene un impacto positivo en otros sistemas del cuerpo. La postura erguida estimula el sistema digestivo, facilitando procesos como la digestión y reduciendo el riesgo de estreñimiento. También se mejora la función respiratoria al optimizar la capacidad pulmonar [1] [8] [9]. Por otro lado, presenta una gran variedad de beneficios psicológicos. Al estar a una altura similar a la de sus coetáneos, el usuario tiene una mayor facilidad para relacionarse lo que fomenta una sensación de autonomía e independencia y mejora su autopercepción y su autoestima [5] [10]. En particular, el proyecto se centra en la mejora del bipedestador *Standz J E N X Jiraffe* (Figura 1), dispositivo que Daniela tiene en casa.

Jenx Ltd es una empresa británica líder en el diseño, investigación y fabricación de equipamiento postural pediátrico. Fundada en 1982, la compañía nació con el objetivo de ofrecer soluciones innovadoras para niños con necesidades posturales especiales, especialmente ante la falta de productos adecuados en el mercado en ese momento [11], [12]. El enfoque de la empresa, desde sus inicios, se ha centrado en el usuario, colaborando de manera muy cercana con niños, familias, cuidadores y terapeutas para desarrollar productos que respondan a necesidades reales y contribuyan al desarrollo funcional y la calidad de vida de los usuarios. Jenx ofrece una amplia gama de productos diseñados para apoyar el desarrollo infantil en las áreas de sedestación (*seating*), bipedestación (*standing*), descanso (*sleeping*) y terapia (*therapy*) [12].

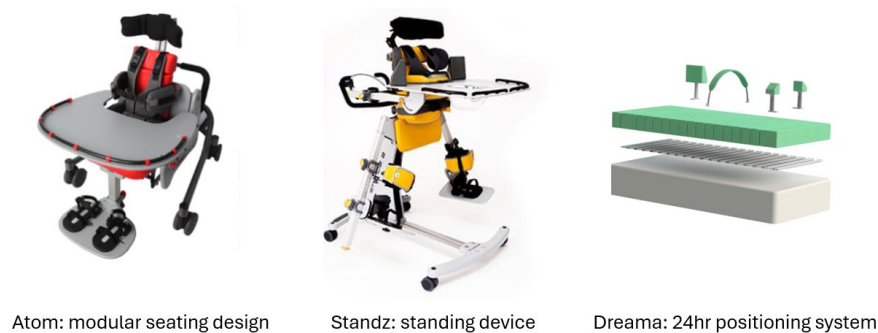


Figura 2: Productos destacados de JENX.

En cuanto a la bipedestación, la marca presenta una amplia gama de bipedestadores entre los que destacan *Standz*, *Standz 2*, *Monkey*, *Supine Stander* y *Multistander*, siendo el primero de ellos el que tiene Daniela en su casa. La marca reconoce la importancia de mantener una postura erguida tanto para la salud física como para el desarrollo psicológico y social de los usuarios. Sus productos abordan distintas necesidades ofreciendo distintas características en cada uno de sus productos, entre ellas destacan la capacidad de posicionar los bipedestadores en posición decúbito prono, decúbito supino o ambas y la abducción. Ésta última característica, la abducción cada una de las piernas por separado y en conjunto es una de las más cotizadas en España, como indicó Jordi Gispert, gerente de RehaGirona, empresa distribuidora en España de los productos de Jenx.

Como se ha mencionado previamente, el proyecto se centra en el bipedestador *Standz*. Este sistema proporciona un posicionamiento ideal para maximizar los beneficios de la bipedestación, que incluyen la mejora de la remodelación de caderas y el aumento del ángulo del movimiento muscular. Éste puede ser configurado en posición prono como supino, lo que lo hace cómodo para diversos contextos terapéuticos. Además, una de las características más novedosas del dispositivo es que puede ajustar la abducción de cada cadera hasta 30° individualmente, lo que proporciona una abducción total hasta 60°. Ésta es particularmente útil para niños que tienen diferencias en la longitud de las piernas u otras necesidades específicas alineas.

En el ámbito de la rehabilitación infantil, el bipedestador *Standz* es fundamental para el desarrollo del control postural y el estímulo propioceptivo. Ambos componentes son tenidos en gran consideración al desarrollar el niño neurológica y psicológicamente, como que reafirmen la integración motora y la seguridad en el movimiento. La bipedestación en sí es fundamental para el mejoramiento de las funciones respiratorias, cardiovasculares, digestivas, razón así que se promueve una mejor calidad de vida para niños que lo utiliza. [4] [10].

Los bipedestadores que existen en el mercado actual presentan ciertos desafíos que permitirían mejorar la calidad de vida de sus usuarios. Los dispositivos tienen que ajustarse adecuadamente al crecimiento y a las necesidades específicas de cada niño para garantizar su eficacia y su comodidad. Además, deben contar con la posibilidad de agregar complementos en ambas posiciones (decúbito prono y supino) como pueden ser un soporte para la cabeza o una mesa de apoyo. Por último, es importante que los bipedestadores sean fáciles de manejar, para facilitar a los cuidadores la subida de los usuarios al dispositivo.

El padre de Daniela identifica tres problemas principales en el bipedestador *Standz JENX Jiraffe*. En la figura a continuación se muestra el producto:

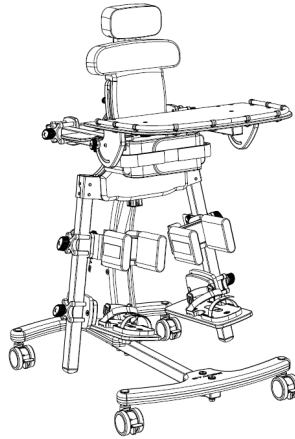


Figura 3: Estructura bipedestador *Standz*, incluye la mesa adicional.

El primer desafío que presenta es que a medida que el peso de Daniela aumente, posicionarla sobre el dispositivo será cada vez más complicado. El segundo desafío consiste en diseñar un dispositivo de sujeción de cabeza que evite que la cabeza de Daniela se caiga hacia adelante y hacia los lados y que a su vez le permita el giro de la cabeza en todas las direcciones. Por último, ha notado que la mesa adicional no acopla bien en posición decúbito prono reduciendo su funcionalidad.

Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

3.1 *MOTIVACIÓN*

Como se ha visto en los apartados anteriores, este proyecto fin de grado surge con el propósito de mejorar la calidad de vida de Daniela. En concreto, el objetivo principal es dar una solución a los desafíos y problemas que el padre de Daniela plantea respecto al bipedestador *Standz* que Daniela utiliza diariamente.

La bipedestación es una actividad fundamental para el desarrollo físico y emocional de los niños. Sin embargo, para los niños con discapacidad motora, o movilidad reducida, mantener una posición erguida no es posible sin la asistencia de dispositivos como los bipedestadores pasivos. Éstos no solo proporcionan beneficios físicos como el fomento del desarrollo musculoesquelético, la mejora de la circulación sanguínea, la optimización de las funciones digestivas y urinarias, o la mejora de la función respiratoria, sino que presentan además una gran variedad de beneficios psicológicos.

El poder estar de pie permite a los niños interactuar con su entorno a una altura similar a la de sus compañeros, lo que fomenta una sensación de igualdad y mejora su autopercepción y su autoestima. Esto promueve una mayor sensación de bienestar y motiva a los usuarios a participar en actividades educativas, terapéuticas y recreativas [13] [14].

La motivación principal del proyecto va más allá de mejorar la funcionalidad del bipedestador *Standz* y facilitar el manejo de éste por parte de los padres y cuidadores de Daniela. Se puede decir que el objetivo principal y más relevante del proyecto es conseguir que Daniela y todos los niños en su situación puedan disfrutar de una vida un poco más cómoda.

3.2 *OBJETIVOS*

Como ya se ha indicado, el objetivo principal de este proyecto fin de grado radica en mejorar la calidad de vida de Daniela mediante modificaciones en el diseño de su bipedestador pasivo, para que no presente las limitaciones comentadas.

El proyecto parte del diseño del bipedestador *Standz J E N X Jiraffe*, y plantea diseñar soluciones para los desafíos planteados por Carlos, con el propósito de mejorar su día a día. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos. El primero es desarrollar un mecanismo de ajuste de altura que facilite la transferencia o el posicionamiento del niño al bipedestador. Se pretende implementar un sistema que permita a los cuidadores bajar el bipedestador en su conjunto, reduciendo así el esfuerzo físico necesario para colocar al niño. El mecanismo deberá ser fácil de usar, seguro y adaptable a distintos contextos, como el traslado desde una silla de ruedas o desde una cama. El segundo es diseñar un soporte para la cabeza extraíble, que ayude a mantener la cabeza en una postura correcta en todo momento y le permita el giro en ambas direcciones. Se trata de garantizar que el niño mantenga la cabeza en una posición estable y correcta cuando esté cansado y no limitar movimientos controlados como girar hacia los lados o inclinarse ligeramente hacia adelante. Y el tercero es rediseñar el sistema de acople de la mesa de apoyo adicional para mejorar su funcionalidad en la posición de cúbito prono.

Estos objetivos buscan mejorar la calidad de vida del usuario del dispositivo y proporcionarle una mayor comodidad. Del mismo modo, se pretende darle una mayor funcionalidad al bipedestador y se busca también facilitar el manejo del dispositivo por parte de las personas que ayudan al cuidado del paciente.

3.3 *METODOLOGÍA*

Inicialmente, el proyecto presentaba una gran dificultad puesto que solo había una idea clara: diseñar un bipedestador que cumpla todos los requisitos de los padres Daniela. El desarrollo del proyecto se centró en distintas fases. La primera tarea fue estudiar el bipedestador *Standz* y establecer una canal de comunicación con Carlos, el padre de Daniela.

Junto a él se fijaron los objetivos concretos del proyecto. Una vez establecidas las metas, se estudiaron los defectos presentados por Carlos, el padre de Daniela, y se buscaron distintas soluciones para cada uno de ellos. Tras tener claras las distintas posibilidades para conseguir los objetivos propuestos, se desarrollará un análisis comparativo de las distintas soluciones, valorando su facilidad de implementación, en qué medida solucionan el problema y su viabilidad.

Además, se contactó con expertos en las diferentes áreas relevantes para definir limitaciones técnicas y alejarnos de lo que ya existe en el mercado y no ha funcionado. Los profesionales contactados en algún punto son los siguientes. Se habló con Gabriel Costa, CEO de J58 una startup enfocada en sillas para adultos que permiten la elevación del usuario hasta una posición casi erguida. Gabriel explicó como el mecanismo se basa en cilindros de gas y cómo funciona el mismo. En las reuniones con Gabriel se confirmaron distintas ideas que podrían llegar a ser útiles, aunque muchas fueron descartadas en un análisis posterior. Por otro lado, se mantuvo el contacto con Almudena Cerezo, una fisioterapeuta proporcionada por la Fundación para resolver las dudas de carácter médico. Gracias a sus observaciones se descartaron varias ideas respecto del dispositivo para la sujeción de la cabeza y se desarrolló la idea que finalmente se propuso diseñar.

Por otro lado, para entender mejor el funcionamiento del bipedestador *Standz* y familiarizarse con el producto se contactó con Jordi Gispert, gerente de RehaGirona, empresa distribuidora en España del bipedestador. En la reunión con Jordi, se presentaron el proyecto y las ideas a diseñar y se obtuvo información más detallada del producto. Jordi ofreció su perspectiva sobre los diferentes aspectos del diseño y la implementación de las soluciones y la viabilidad de estas. Además, Jordi facilitó el contacto de una clínica de ortopedia llamada CAT SIN BARRERAS en Madrid, donde posteriormente se estudió el producto en persona y se tomaron las medidas necesarias para la realización de los diseños. Por supuesto, todas las ideas siguieron adelante con el visto bueno de la familia de Daniela.

Una vez elegida la idea a diseñar se da por terminado el análisis previo del proyecto y se empieza la etapa de dimensionamiento. Lo primero fue establecer una serie de datos estimados para usarlos como base: vida útil del bipedestador y peso de Daniela al final de la

vida útil. Es importante que estos datos sean lo más realistas posible y aplicarles un cierto margen de error. Además, todas las soluciones estarán diseñadas de tal manera que se puedan implementar sobre el producto ya existente.

Para desarrollar el proyecto se utilizarán distintas herramientas. La parte principal de diseño se hará a través de Solid Edge. Este software se usará para la creación de modelos en 3D, facilitando el diseño detallado de las nuevas piezas y mecanismos propuestos. Además, se realizará con esta plataforma, el análisis de elementos finitos para evaluar los mecanismos diseñados en relación con los criterios de carga, con el objetivo de cumplir los requisitos de resistencia y, a la vez, reducir al mínimo el uso de material. También se hará uso de Microsoft Excel para hacer las tablas comparativas y los cálculos más sencillos, cuando sea necesario.

3.4 PLANIFICACIÓN

El plan de trabajo a seguir durante este proyecto es el que se puede observar en la Figura 3.

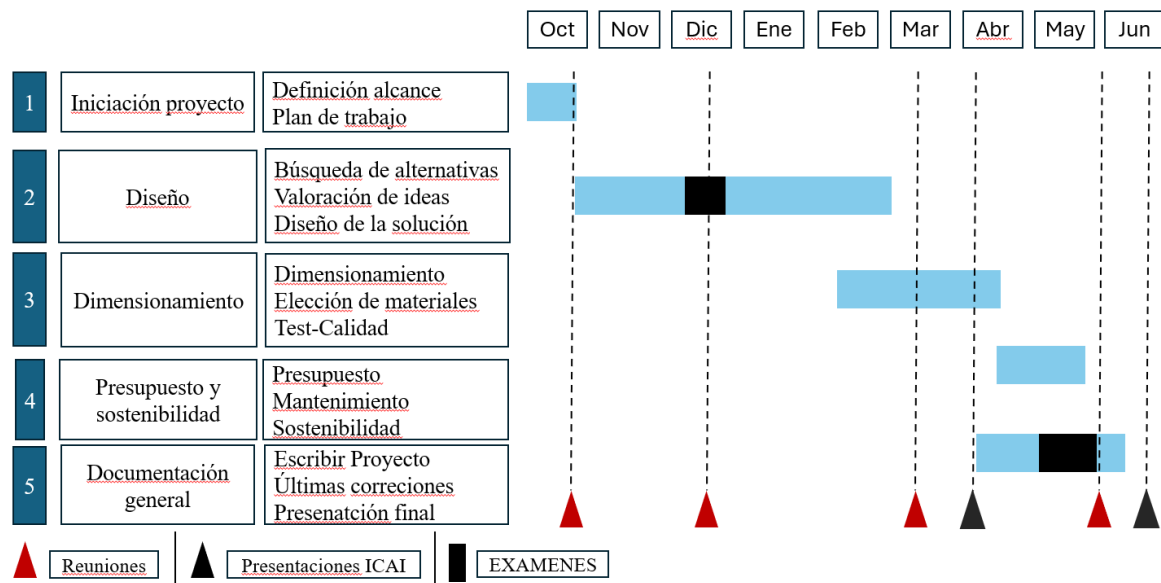


Figura 4: Cronograma de ejecución del proyecto.

Al tratarse en un Trabajo de Fin de Grado propuesto por la Fundación de Ingenieros de ICAI, se harán seguimientos periódicos tanto con la Fundación como con la familia de Daniela. Estas reuniones están mostradas en rojo en el cronograma.

Capítulo 4. FORMALIZACIÓN DE IDEAS

4.1 OBTENCIÓN DE IDEAS

Como ya se ha mencionado, inicialmente no había una idea clara de la que partir. Por lo que la fase inicial consistió en una lluvia de ideas para solucionar cada uno de los defectos presentados por Carlos, el padre de Daniela. Una vez determinadas las diferentes ideas, se valoraron según la facilidad de implementación de las mismas y su potencialidad. Por potencialidad se entiende en qué medida se cumplen los requisitos del padre de Daniela.

	Idea	Potencial	Facilidad	Ratio	
basculación	rodillos	5	1	5	Potencialidad: 1- no cumple 5- cumple hasta cierto punto 10- cumple todos los requisitos
basculación	regulador vertical	5	10	50	
basculación	cilindro neumatico	10	1	10	
basculación	cilindro de gas	10	5	50	
basculación	resorte mecanico	5	5	25	
basculación	amortiguador hidraulico	10	1	10	
sujeción cabeza	cinta	1	5	5	Facilidad de implementación: 1- muy difícil 5- se puede hacer 10- fácil
sujeción cabeza	cinta diadema	1	10	10	
sujeción cabeza	collarin	5	10	50	
sujeción cabeza	headloft	5	5	25	
sujeción cabeza	headpot wheelchairs modificado	10	5	50	
sujeción cabeza	sujetador cefalico modificado	10	5	50	
mesa	acople con posiciones	10	10	100	
mesa	varilla mesa en dos piezas	10	10	100	

Figura 5: Ideas planteadas

En la Figura 5 se muestra como a cada idea se le asignaron dos puntuaciones. Una primera nota de potencialidad indicando cómo de bien cumple los requisitos, siendo 10 la calificación más alta. Otra nota de facilidad, indicando cómo de fácil sería su implementación desde 10 (fácil) hasta 1 (muy difícil). Cabe destacar que esta lista de ideas se realizó antes de consultar con expertos sobre las áreas relevantes y con Carlos el padre de Daniela.

Tras valorar y seleccionar las soluciones más viables para los problemas identificados, se mantuvieron diversas reuniones con expertos, como Gabriel Costa y

Almudena Cerezo, quienes aportaron su experiencia y conocimientos en sus respectivas áreas.

Por un lado, Gabriel Costa es el CEO de J58, una startup enfocada en sillas para adultos que permiten la elevación del usuario hasta una posición casi erguida. Éstas tienen incorporado un sistema de cilindros de gas que permite la elevación del asiento. Gabriel explicó cómo funciona el mecanismo y dio una opinión positiva sobre utilizar un mecanismo similar para el primer desafío propuesto. Por otro lado, se habló con Almudena Cerezo, una fisioterapeuta proporcionada por la Fundación para resolver las dudas de carácter médico. Con su ayuda, se desarrolló una nueva idea que consistía en unificar dos de las ideas planteadas, las que en la Figura 5 en la sección de "sujeción de cabeza" se encuentran marcadas en verde, con el fin de aprovechar las ventajas proporcionadas por cada una de ellas.

A través de estas reuniones, se definieron las tres ideas más prometedoras que podían abordar de manera eficaz los retos planteados por Carlos. Se presentó un resumen de las tres ideas seleccionadas a la Fundación y a Carlos, el padre de Daniela, para obtener su visto bueno y confirmar que las propuestas cumplieran con los requisitos establecidos.

Además, se contactó con Jordi Gispert, gerente de RehaGirona, empresa distribuidora en España de los productos de Jenx. En la reunión con Jordi, se presentaron el proyecto y las ideas a diseñar y se obtuvo información más detallada del producto. Jordi ofreció su perspectiva sobre los diferentes aspectos del diseño y la implementación de las soluciones y la viabilidad de estas.

Finalmente, tras obtener el visto bueno de Carlos y de Jordi, se procedió a dimensionar las soluciones y preparar el desarrollo del proyecto.

4.2 IDEAS A DISEÑAR

4.2.1 SISTEMA DE BASCULACIÓN

La solución propuesta para solventar el primer desafío presentado por Carlos consiste en modificar el mecanismo actual de basculación del bipedestador. Actualmente, el bipedestador no dispone de un sistema de elevación en vertical por lo que a medida que Daniela crece es cada vez más complicado colocarla en la posición correcta. El objetivo consiste en implementar un sistema de elevación que facilite este proceso. Se busca reducir el esfuerzo necesario para levantarla y posicionarla de manera horizontal sobre el producto, considerando su crecimiento y el aumento de su peso.

Se propone utilizar un sistema asistido por uno o varios cilindros de gas que permita ajustar la altura de forma más eficiente y segura. Para ello habría que modificar la estructura del bipedestador. El producto existente para su correcto funcionamiento consta de cuatro elementos principales: el regulador de giro, la carcasa, la base y la barra que permite girar la estructura.

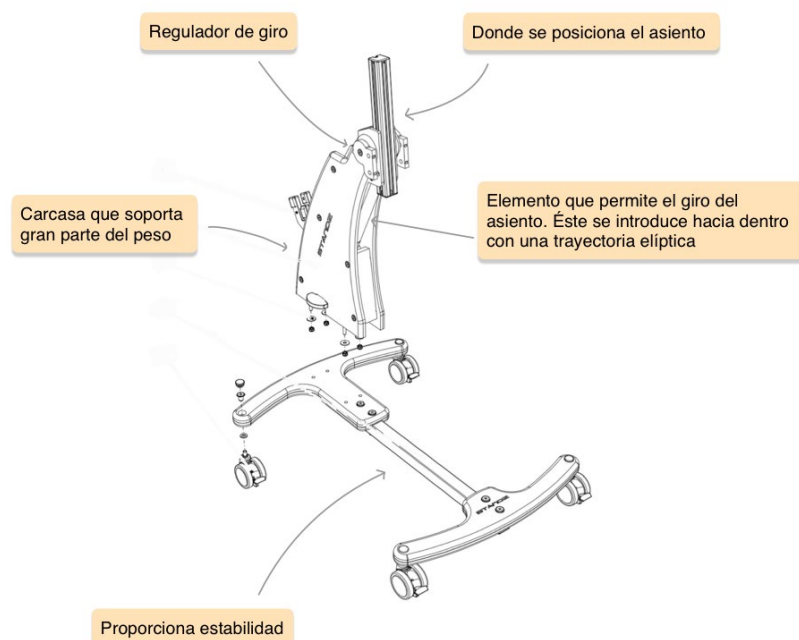


Figura 6: Estructura existente del soporte del bipedestador.

En la Figura 6, obtenida del despiece del bipedestador *Standz J E N X Jiraffe*, se han identificado los diferentes elementos clave para el funcionamiento del mismo. La barra que transmite el giro sigue una trayectoria elíptica lo que dificulta integrar un pistón de gas en la estructura existente. Con el fin de implementarlos se propone un rediseño de la estructura de soporte del bipedestador manteniendo su funcionamiento. Para ganar espacio y poder añadir los pistones de gas se propone cambiar la barra existente por una desplegable de tal manera que cuando el bipedestador gire, ésta no baje su altura, sino que se comprima sobre sí misma. Además, será necesario reducir la altura de la carcasa. La nueva carcasa deberá proteger la barra y soportar parte del peso del bipedestador sin llegar hasta el suelo, permitiendo así implementar el cilindro de gas debajo de ella.

Por último, habrá que analizar si es necesario cambiar la base, puesto que esta pieza es clave para la estabilidad del conjunto entero. En caso de que sea necesario se propone añadir una barra en cada lateral de la carcasa que constará de dos guías, una cada lado, de tal manera que se aumente la estabilidad del conjunto. De la misma manera se propone hacer lo mismo, pero desde la parte posterior de la carcasa, se trataría de una barra rígida que vaya desde la parte posterior de la carcasa hasta la parte central de la base, donde se creará una guía por la que la barra pueda deslizarse. Con estos tres ajustes, el conjunto no debería tener ningún problema de estabilidad, se irá viendo cuál de ellos es necesario. A continuación, se muestra un boceto de los ajustes de estabilidad propuestos (Figura 7), donde se han dibujado en rojo las barras adicionales que ayudarán a mantener la estabilidad de la estructura completa.

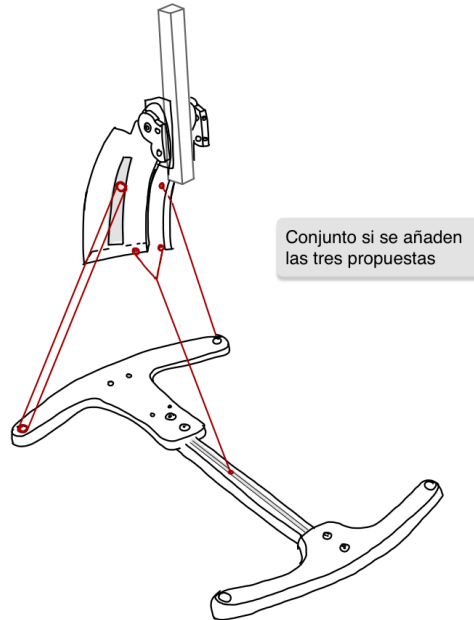


Figura 7: Boceto ajustes de estabilidad.

4.2.2 DISPOSITIVO PARA LA SUJECCIÓN DE CABEZA

La segunda solución está enfocada en diseñar un accesorio adicional para el bipedestador que funcione como apoyo para la cabeza y solucione el problema de la sujeción de la cabeza de Daniela, especialmente cuando comienza a fatigarse. La idea consiste en diseñar un soporte ajustable y adaptable que ayude a mantener la cabeza en la posición correcta en todo momento sin limitar su movilidad. Debe permitir el giro completo hacia los dos lados e impedir que a Daniela se le caiga la cabeza hacia adelante una vez esté cansada.

Como se ha mencionado antes, la propuesta surge como la fusión de dos ideas (Figura 5). Se trata de unificar de cierta manera un sujetador cefálico con un *headpod*. El primer producto no permite el giro hacia los lados, pero garantiza la posición correcta de la cabeza en todo momento e impide que ésta se caiga hacia adelante. El segundo producto permite el movimiento de la cabeza en cualquier dirección, pero, aunque garantice la correcta posición de la cabeza, si Daniela se cansa mucho podría haber peligro de que arque el cuello. En las Figura 8 y Figura 9 se muestran respectivamente ambos productos.



Figura 8: Sujetador cefálico.



Figura 9: Headpod.

A medida que se fue avanzando el diseño de las soluciones a cada uno de los problemas, se mantuvieron reuniones de seguimiento con Carlos, el padre de Daniela. En una de estas reuniones se decidió cambiar la solución propuesta para la sujeción de cabeza. Tras mostrar el diseño final en 3D a través de la plataforma Solid Edge, Carlos mostró preocupaciones respecto a implementar parte de la sujeción en el cuello. Inicialmente, la propuesta consistía en dos partes: diseñar un dispositivo similar a los *headpods* para garantizar el giro en todos los sentidos y rediseñar el reposacabezas existente para que fuera maleable de tal manera que una vez que Daniela se cansará, el padre o cuidador pudiera ajustar las extremidades del reposacabezas para evitar que a la paciente se le cayera la cabeza hacia delante.

Al principio del proyecto, cuando Carlos propuso este desafío, mencionó que a Daniela se le cae la cabeza cuando ya lleva un tiempo subida al bipedestador. Almudena Cerezo, fisioterapeuta, confirmó que los niños con discapacidades motoras severas tienden a dejar de intentar hacer fuerza en sus extremidades cuando se cansan o pierden motivación y explicó que las terapias basadas en el uso de bipedestadores proponen que los niños estén en el dispositivo un corto periodo de tiempo, alrededor de quince minutos. Sabiendo esto, y con las preocupaciones de Carlos, se decidió optar por quedarse solo con la primera parte del diseño: un accesorio que ayuda a Daniela a tener la cabeza en una posición correcta y le permite el giro en todas las direcciones. Se llegó a la conclusión de que cuando Daniela esté muy cansada y pierda motivación la sesión sobre el bipedestador se dará por terminada, por lo que la segunda parte del diseño, que generaba inseguridad a Carlos, se desestimó.

4.2.3 ACCESORIO ADICIONAL: ACOPLE MESA

El tercer desafío que planteó Carlos es que la mesa adicional no acople adecuadamente en la posición de decúbito prono. La solución propuesta consiste en rediseñar el sistema de acoplamiento.

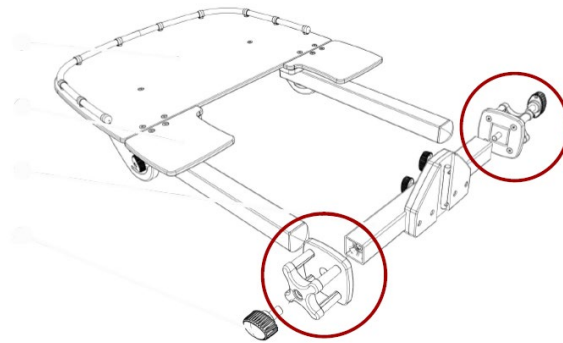


Figura 10: Despiece mesa adicional

Como se observa en la Figura 10, la mesa se acopla al bipedestador a través de una pieza cuadrada que no permite colocar la mesa en distintas posiciones. Al colocar la mesa cuando el bipedestador se encuentra en la posición decúbito prono, ésta queda perpendicular al mismo haciendo que las cosas que se sitúen sobre ésta caigan al suelo.

La solución propuesta consiste en diseñar un nuevo sistema de acoplamiento que permita fijar la mesa de manera estable con una cierta inclinación para solucionar el problema descrito. Para ello se propone dividir el apoyo en tres piezas. Dos de ellas serán piezas fijas y una móvil. Cada una de las piezas tendrá una función clave como se verá más adelante. La primera pieza fija será el punto de unión entre la mesa y el bipedestador. La segunda pieza, será móvil, y será donde se introduzcan las patas de la mesa adicional. Esta pieza será similar al acoplamiento actual y constará de unos dientes que se engancharán en la última pieza. Gracias a este sistema de dientes, se conseguirá darle un ángulo a la mesa.

Capítulo 5. SISTEMA DE BASCULACIÓN

5.1 DISEÑO

El primer problema que Carlos ha identificado con el bipedestador *Standz* es la ausencia de un sistema de elevación en vertical. El padre de Daniela informa de que subir a su hija al bipedestador cada vez es una labor más complicada y se puede convertir en un obstáculo en un futuro. Por esta razón, el objetivo de este primer diseño es desarrollar un sistema que permita a los cuidadores bajar el bipedestador en su conjunto, reduciendo así el esfuerzo físico necesario para colocar al paciente. Para esto se propone rediseñar la estructura base del bipedestador e implementar un pistón de gas que permita reducir la altura del bipedestador cuando sea necesario y reduzca el esfuerzo necesario para volver a la posición original una vez el usuario este colocado sobre el dispositivo.

Como se ha explicado en el apartado 4.2.1, para llevar a cabo el diseño, hay que modificar varias partes del bipedestador existente. El primer paso fue rediseñar barra que permite el giro Figura 6. Como se ha mencionado antes, este elemento se transforma en una barra extensible, de tal manera que cuando el bipedestador que se reduzca el espacio utilizado y se pueda implementar el pistón de gas. Esta barra se ha diseñado de la siguiente forma:

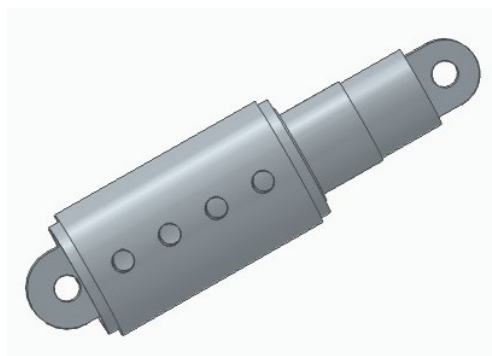


Figura 11: Barra comprimida al máximo.



Figura 12: Barra extendida al máximo.

Como se ve en ambas figuras, Figura 11 y Figura 12, el mecanismo está compuesto por cuatro cilindros que deslizan unos sobre otros y que tienen topes en cada uno de sus extremos. Cada una de las piezas tiene varios agujeros lo que permitirá que el bipedestador al completo proporcione la inclinación deseada.

La segunda parte del bipedestador existente que ha sido modificada es la carcasa que recubría la barra. La nueva carcasa dispone de un asa para enganchar la barra extensible y dos alas laterales que cumplen con dos funciones. Por un lado, recubren el pistón de gas protegiéndolo, por otro, en su cara exterior tienen un carril sobre el cual deslizarán las barras metálicas adicionales que garantizan la estabilidad del bipedestador. Al diseñar de esta manera la carcasa, con dos alas con los raíles en vez de alargarla hacia arriba, disponiendo los raíles sobre el lateral de la carcasa como se había pensado inicialmente Figura 7, la carcasa tiene más inercia y las barras que hacen de refuerzo están más bajas y menos inclinadas por lo que aguantan mejor las fuerzas horizontales proporcionando mayor estabilidad al dispositivo entero. Por último, la parte superior de la carcasa se ha mantenido como la existente para poder implementar el regulador de giro y la pieza que une la carcasa con el asiento del dispositivo iguales a las actuales. En las figuras a continuación se muestra la carcasa modificada:

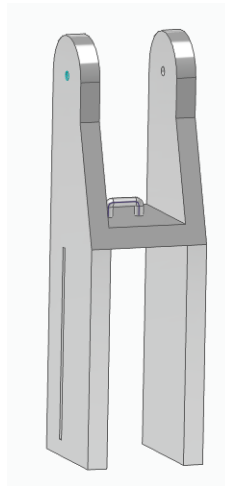


Figura 13: Vista 3D carcasa.

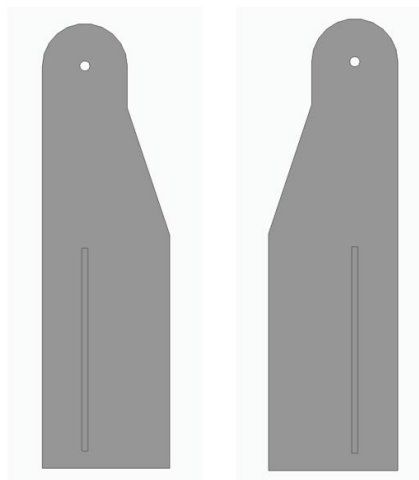


Figura 14: Vista lateral carcasa. Se muestran los carriles.

Como se ha mencionado, los raíles que se ven en la Figura 14 se han añadido para poder implementar un refuerzo que garantice la estabilidad del dispositivo final. Este refuerzo son dos barras metálicas que salen a los lados de la carcasa y que están ancladas a la base de la estructura (Figura 15). Por último, la base de la estructura se ha mantenido como la existente, añadiendo dos agujeros para implementar el refuerzo de estabilidad y tres perforaciones para la base del pistón de gas. A continuación, se muestran el refuerzo, la base y el conjunto carcasa, base, refuerzo.



Figura 15: Refuerzo lateral para la estabilidad.

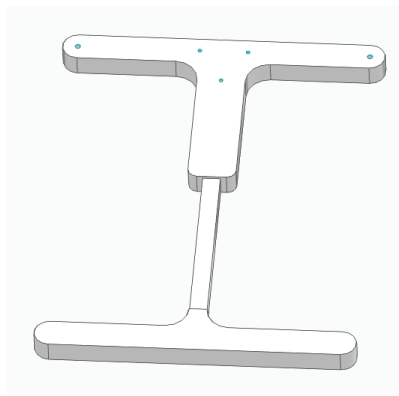


Figura 16: Base del bipedestador.

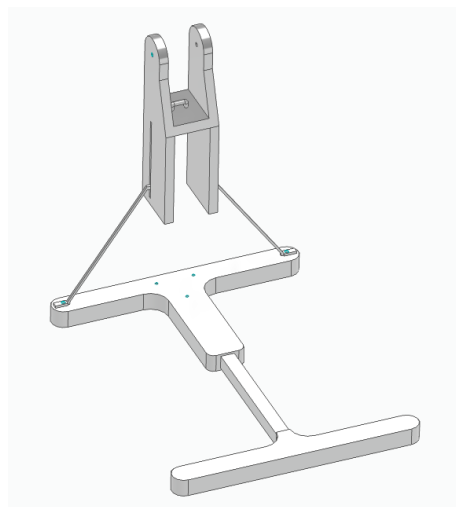


Figura 17: Conjunto base, refuerzo, carcasa.

En cuanto al pistón, se ha diseñado un pistón de efecto doble que permite controlar completamente el movimiento en ambas direcciones. Esto es crucial dado que el usuario del bipedestador se encontrará sobre éste cuando se mueva el pistón tanto hacia arriba como hacia abajo. Se ha creado en 3D para realizar el estudio de tensión y de estabilidad un cilindro de gas compuesto por tres piezas: cilindro exterior, base inferior y vástago (+pistón).

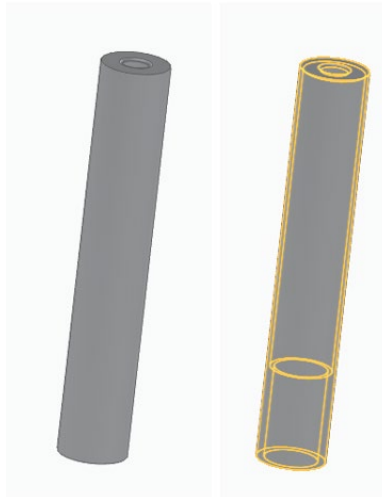


Figura 18: Cilindro exterior pistón de gas.

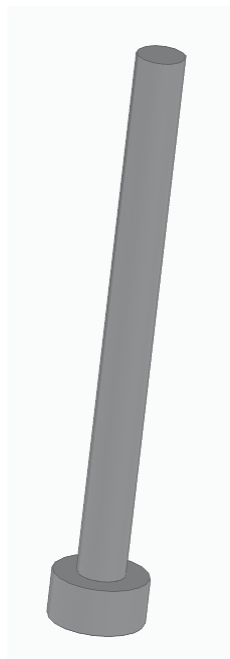


Figura 19: Vástago pistón de gas.

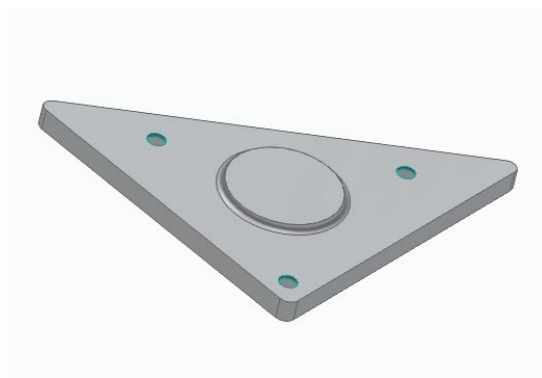


Figura 20: Base inferior pistón de gas.

En la Figura 18, se han marcado en amarillo los contornos de la figura para mostrar el desnivel que hay en el interior gracias al cual se obtiene la carrea útil deseada.

El pistón en su conjunto resulta de la siguiente forma:

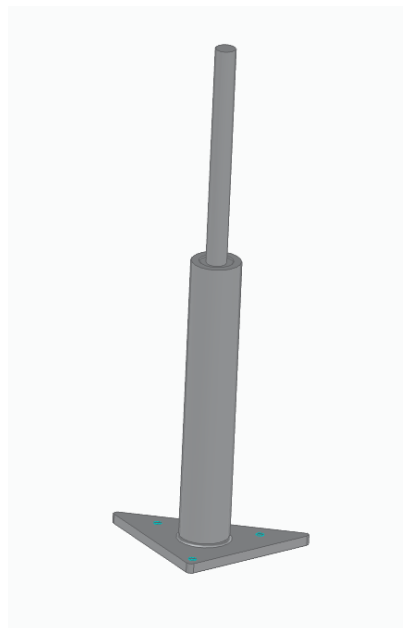


Figura 21: Conjunto pistón de gas.

Por otro lado, el conjunto total de las piezas (sin tener en cuenta la barra extensible) queda de la siguiente manera:

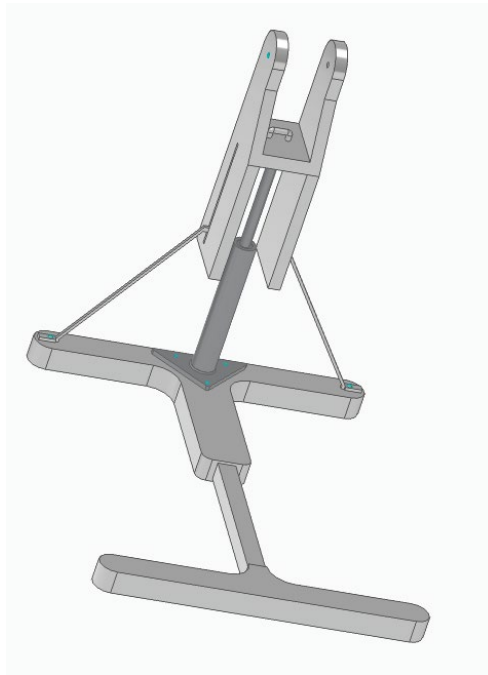


Figura 22: Conjunto sistema basculación.

5.2 DIMENSIONAMIENTO

Una vez definida la solución a llevar a cabo, se ha pasado la fase de dimensionamiento. Para ello, se ha estimado la carga máxima que tendrá que empujar el pistón de gas y se ha contrastado con cilindros de gas existentes. Como se indica en las especificaciones técnicas del bipedestador *Standz* talla 1, el peso máximo es del usuario es de 45 Kg, y a esta cifra hay que añadirle el peso del bipedestador que se ha estimado en 15 Kg. Teniendo en cuenta esto, el pistón de gas deberá empujar aproximadamente 60 Kg.

Tabla 1: Cargas a soportar

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Peso usuario	45 Kg
Peso estimado bipedestador	15 Kg
Carga total	60 Kg (588,6 N)
Factor de seguridad	Mínimo 1,5
Carga final	Mínimo 90 Kg (882,9 N)

En la Tabla 1 se muestra un resumen de la carga a soportar por el pistón. Como se indica, se ha diseñado el cilindro de gas comprobando que como mínimo se obtenga un factor de seguridad de 1,5, es decir, como mínimo tiene que haber una fuerza de empuje y de retroceso de aproximadamente 882,9 N. Una vez establecida la fuerza de empuje mínima, con la que se comprobará si el pistón diseñado cumple o no las especificaciones del diseño, el siguiente paso ha sido identificar los parámetros clave del pistón de gas (Tabla 2). Para dimensionar el pistón, se ha tenido en cuenta la norma ISO 15552, esta norma es un estándar internacional que define las dimensiones, características de montaje e intercambiabilidad para cilindros neumáticos de uso industrial, especialmente en automatización. Adherirse a esta norma tiene

varias ventajas, la que más destaca es la intercambiabilidad total: cualquier cilindro producido bajo esta norma puede ser cambiado por uno idéntico de fabricante diferente sin necesidad de reformar fijaciones, estructuras ni accesorios, lo que hace que el diseño, el mantenimiento y el manejo de repuestos en sistemas de automatización sean más fáciles. La estandarización de dimensiones y accesorios también hace que la integración de sensores y dispositivos sea más fácil. Además, asegura un gran número de disponibilidad de tamaño y materiales [15].

Tabla 2: Parámetros clave para el pistón a determinar, siguiendo norma ISO 15552.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Carrera útil	5-500 mm
Diámetro exterior del cilindro	32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320 mm
Diámetro del vástago	12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63 mm
Presión interna	0,1 a 10 bar

Como se ha explicado previamente, la solución propuesta al problema señalado por Carlos es la implementación de uno o más pistones de gas, los necesarios para desarrollar un sistema de elevación vertical. Por motivos de simplicidad en el diseño e integración del sistema, se ha optado por emplear un único pistón de gas en lugar de múltiples. Esta elección permite reducir la complejidad estructural y mecánica del conjunto.

Lo primero ha sido determinar el diámetro del cilindro y del vástago. Éstos se han hallado a raíz de la siguiente fórmula base: $F=P \cdot A$. Teniendo en cuenta lo siguiente:

$$F_{avance} = P * \frac{\pi * D_{cilindro}^2}{4} \quad [1]$$

$$F_{retroceso} = P * \frac{\pi * (D_{cilindro}^2 - D_{vástago}^2)}{4} \quad [2]$$

**Para calcular la fuerza de avance no se resta el área del vástago porque la presión actúa sobre toda la superficie del pistón, mientras que, para la fuerza de retroceso, sí se resta el área del vástago porque el fluido presurizado solo actúa sobre la superficie anular.*

De la ecuación 1, suponiendo la fuerza de avance de 900N y la presión de 6 bar, se obtiene:

$$D_{cilindro} = 2 * \sqrt{\frac{F_{avance}}{\pi * P}} = 2 * \sqrt{\frac{900}{\pi * 6 * 10^5}} \approx 0,0437m = 43,7mm \quad [3]$$

Tomando los diámetros estándar de la Tabla 2, se escoge el primer diámetro mayor o igual a 43,7 mm, resultando en un diámetro de 50 mm. A continuación, se verifica que este valor cumpla con la fuerza generada:

$$F_{avance} = P * \frac{\pi * D_{cilindro}^2}{4} = 6 * 10^5 * \frac{\pi * 0,0437^2}{4} = 1178N(> 900N) \quad [4]$$

Haciendo lo mismo con la ecuación 2, se obtiene el diámetro del vástago:

$$D_{vástago} = \sqrt{D_{cilindro}^2 - \frac{F_{retroceso} * 4}{\pi * 6 * 10^5}} = \sqrt{0,05^2 - \frac{900 * 4}{\pi * 6 * 10^5}} \approx 0,02429m = 24,29mm \quad [5]$$

Tomando los diámetros estándar de la Tabla 2, se escoge el primer diámetro menor o igual a 24,29 mm, resultando en un diámetro de 20 mm. A continuación, se verifica que este valor cumpla con la fuerza necesaria:

$$F_{retroceso} = P * \frac{\pi * (D_{cilindro}^2 - D_{vástago}^2)}{4} = 6 * 10^5 * \frac{\pi * (0,05^2 - 0,02^2)}{4} = 989,6N(> 900N) \quad [6]$$

Una vez obtenidos los diámetros necesarios, se ha definido la carrea útil. Ésta se estimada de 200mm. Con estos parámetros, se ha hecho un estudio de mercado y se han validado los pistones existentes. Finalmente, se ha decidido utilizar el siguiente pistón: ISO

15552 Double Acting Cylinder 50-200mm - Magnetic – Damping [16]. Las características principales de éste se recogen en la Tabla 3 y en la Tabla 4:

Tabla 3: Características clave pistón utilizado.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Carrera	200 mm
Diámetro cilindro	50 mm
Diámetro vástago	20 mm
Fuerza de extensión	1178N(>900N) (ajustable)
Presión	6 MPa (se puede aumentar hasta 10 MPa)

Tabla 4: Materiales pistón utilizado.

<i>Pieza</i>	<i>Material</i>
Cilindro	Aluminio
Vástago	Acero
Gas	Aire comprimido

Además, se ha añadido una placa de aluminio de forma triangular y de 10 mm de espesor en la parte inferior del pistón, la que toca con la base estructural del bipedestador. Ésta tendrá dos funciones: actuar de refuerzo estructural y facilitar la unión entre el pistón y la base del bipedestador. El conjunto entero de las piezas se mostró en la Figura 21.

Por último, para comprobar que el pistón tendrá un correcto funcionamiento hay que verificar que éste no pandee bajo las fuerzas de avance y retroceso. Para comprobar que el

ISO 15552 Double Acting Cylinder 50-200mm - Magnetic - Damping no pandeo bajo las fuerzas de avance (1178 N) y retroceso (989,6 N), se aplica el criterio de pandeo de Euler para columnas articuladas (caso más desfavorable, vástago libre en el extremo):

$$F_{crítica} = \frac{\pi^2 * E * I}{(K * L)^2} \quad [7]$$

Los datos son:

Tabla 5: Datos pistón cálculo pandeo.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
E	210000MPa
I	$I = \frac{\pi}{64} D_{vástago}^4 = 7,85 * 10^{-9} m^4$
K	1
L	200 mm

De ahí queda:

$$F_{crítica} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 7,85 * 10^9}{(1 * 0,2)^2} = 406751,0714 N \quad [8]$$

El vástago de 20 mm de diámetro y 200 mm de longitud útil tiene una carga crítica de pandeo cientos de veces superior a la fuerza máxima de trabajo del cilindro, por lo que no existe riesgo de pandeo en condiciones normales de uso.

Por último, como se ha mencionado en el apartado anterior, 5.1, a parte del pistón de gas hay tres elementos esenciales: base, carcasa, barras de refuerzo. Para estas piezas se ha mantenido en gran medida las dimensiones de las ya existentes y los materiales usados en el dispositivo. Por ello, tanto la base como la carcasa como las barras de refuerzo se han diseñado de Aluminio 6061 T-6.

5.3 *SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS*

La solución propuesta se ha modelado en 3D y se ha realizado un análisis de elementos finitos (FEA). El análisis por elementos finitos es una herramienta fundamental para predecir el comportamiento estructural, térmico y dinámico de componentes y sistemas complejos. Permite simular cómo se comporta un objeto o estructura bajo condiciones reales, sin necesidad de construirlo físicamente. Para realizar el estudio se ha ensamblado el conjunto en la posición más crítica, es decir, cuando el pistón está completamente extendido y el usuario se encuentra sobre el dispositivo. En este caso, el análisis de elementos finitos es crucial para saber si la estructura tiene la estabilidad suficiente gracias a los refuerzos aplicados o si sería necesario añadir algún refuerzo más. Sobre el diseño en 3D de la solución propuesta en tal posición, se han aplicado las fuerzas explicadas en la sección anterior y se han estudiado el comportamiento del diseño. En las figuras a continuación se muestra la solución diseñada con las fuerzas aplicadas y las restricciones pertinentes.



Figura 23: Restricciones aplicadas (conjunto basculación).

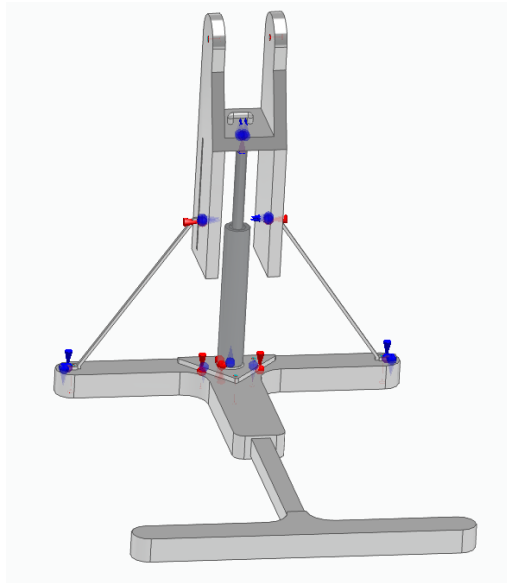


Figura 24: Conectores aplicados (conjunto basculación).

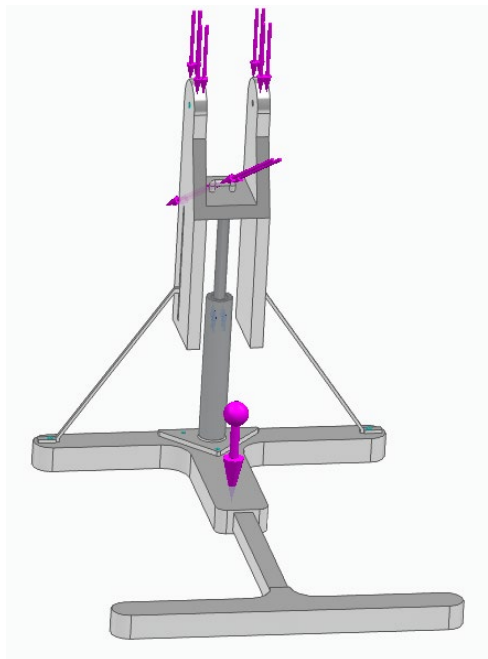


Figura 25: Fuerzas aplicadas (conjunto basculación).

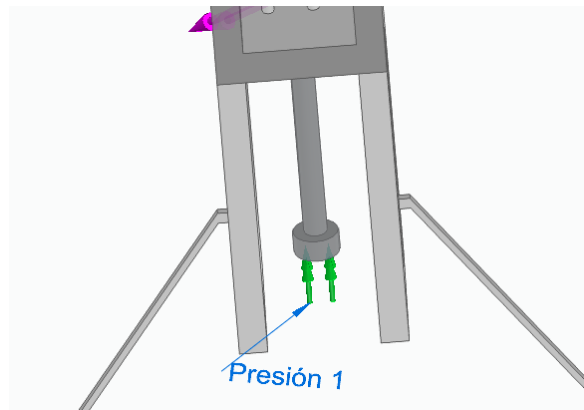


Figura 26: Presión del pistón cuando éste está extendido.

En las primeras dos figuras, Figura 23 y Figura 24, se muestran las restricciones y los conectores aplicados respectivamente. En cuanto a las restricciones, se ha definido como fija la base del bipedestador. Para los conectores, se han sellado todas las piezas que están en contacto entre sí, puesto que para la posición representada no se mueven. Por un lado, se han pegado la base del pistón con la base del bipedestador, la cara inferior del refuerzo de estabilidad con la base del bipedestador, la cara superior del vástago con la cara inferior de la carcasa y la cara inferior del cilindro con la superior de la base del mismo. Estas cuatro condiciones son siempre así independientemente de la posición representada. Por otro lado, se han pegado la cara superior del pistón con la cara superior interna del cilindro y las caras de los refuerzos de estabilidad que tocan con los raíles. Estas dos condiciones se han definido con el fin de estudiar el comportamiento de la estructura en este instante preciso. Si se quisiera simular el movimiento, estas condiciones habría que suprimirlas para permitir el deslizamiento de los refuerzos por los raíles de la carcasa y del vástago (+pistón) sobre el cilindro exterior.

Las cargas aplicadas se muestran en la Figura 25 y en la Figura 26. En la primera se muestran las fuerzas aplicadas: sobre la carcasa se pueden observar dos grupos de flechas. La suma de todas ellas representa los 900N que el pistón ha de empujar. Además, se puede ver una flecha vertical hacia abajo sobre la base del bipedestador. Ésta representa la gravedad. Por otro lado, en la segunda imagen, se muestra la presión aplicada en el pistón de gas (6 bar).

Una vez aplicadas todas las cargas y las restricciones, se procede a resolver el sistema. Dentro del FEA se han destacado dos simulaciones: la tensión según el criterio de Von Mises (Figura 27) y la deformación total (Figura 29).

Dentro del análisis de elementos finitos, la tensión de Von Mises representa un criterio para evaluar el fallo de materiales dúctiles, como el aluminio. La tensión de Von Mises representa una tensión equivalente que resume el estado tridimensional de tensiones en un escalar. De esta manera, comparando esta tensión con el límite elástico del material se puede determinar si una estructura está trabajando dentro de su rango seguro o si existe riesgo de fallo. Por ello, visualizar la distribución de esta tensión en una simulación FEA es clave para identificar zonas críticas y asegurar la viabilidad del diseño. En las figuras que siguen se muestra este análisis de tensión:

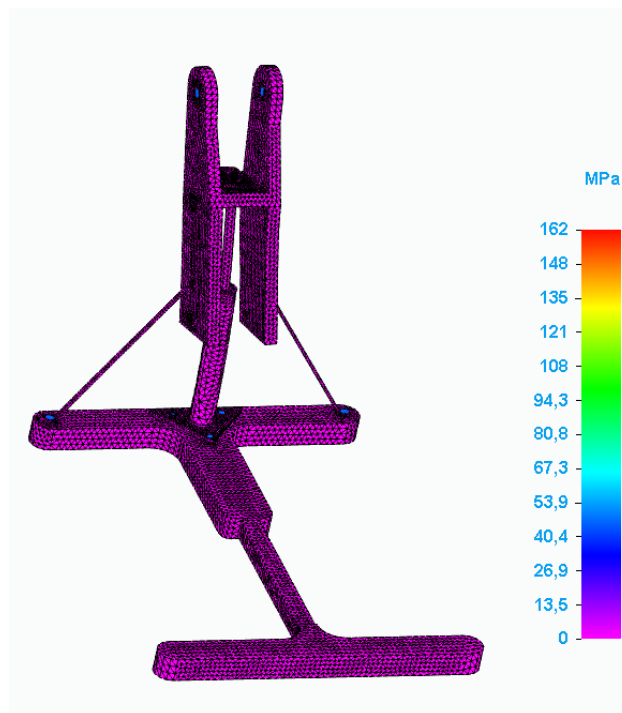


Figura 27: Análisis de tensión de VM (sistema basculación).

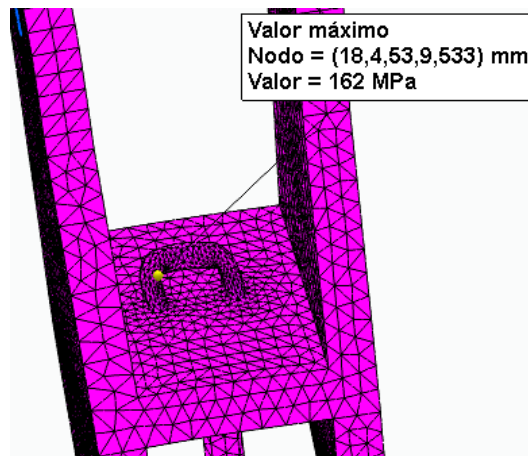


Figura 28: Tensión máxima de VM (sistema de basculación).

A simple vista debido a la escala de colores se puede observar que el sistema no presenta ningún fallo por tensión. En la Figura 28, se muestra el punto donde se encuentra la tensión máxima, ésta se halla en el asa de la carcasa donde se engancha la barra extensible. Que la tensión máxima se de en este lugar tiene dos razones: por un lado, se trata de una esquina, por lo que es un punto crítico de la estructura, por otro lado, el asa recibe parte del peso directamente sobre ella como se mostró en la Figura 25. Una vez hallado el valor de la tensión máxima, 162 MPa, hay que comparar con el límite elástico del material para determinar si se trata de un punto de rotura o no. En este caso, al encontrarse sobre la carcasa, el material con el que debemos comparar es aluminio 6061 T-6, cuyo límite de elasticidad es de aproximadamente 276 MPa. Con estos dos valores se calcula el factor de seguridad con el que trabaja el diseño:

$$n = \frac{\sigma_{eq}}{\sigma_{VM}} = \frac{276}{162} = 1,703 \quad [9]$$

El conjunto trabaja con un factor de seguridad de 1,703 superior al factor de seguridad mínimo deseado con el que se había diseñado inicialmente el pistón (1,5). Por ello se puede concluir que la estructura es segura.

Por último, cabe destacar el análisis del desplazamiento total. Éste permite evaluar la deformación general del dispositivo sometido a cargas. Pese a que los resultados de tensión indiquen posibles fallos estructurales, la traslación total releva si la pieza mantiene su

funcionalidad y estabilidad. En este caso, este estudio es crucial puesto que al modificar el cuerpo del bipedestador se puede haber modificado su estabilidad. A continuación, se muestra este análisis:

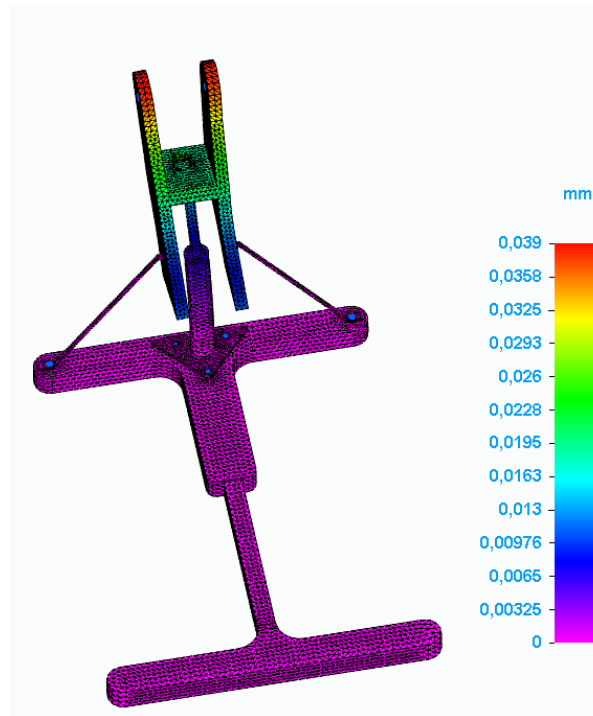


Figura 29: Traslación total (sistema de basculación).

Como se observa en la figura, los puntos que más se mueven son los puntos superiores de la carcasa. Éstos se mueven 0,039 mm, lo que indica que el sistema es completamente estable. Por ello podemos concluir que la solución propuesta es segura y viable.

Capítulo 6. SUJECCIÓN DE LA CABEZA

6.1 DISEÑO

El segundo desafío que Carlos propuso fue diseñar un accesorio adicional para el bipedestador que ayude a Daniela a mantener una posición correcta del cuello y de la cabeza permitiéndole a su vez el giro a 360°. Para ello se ha diseñado un accesorio que consiste en tres piezas y que se asimila a un *headpod*. Se trata de un soporte dinámico de cabeza diseñado para ayudar a Daniela a mantener la cabeza erguida. Éste permite movimiento activo y natural de la cabeza en diferentes direcciones mientras la sostiene en una posición alineada. Como se muestra en las figuras a continuación consiste en un arnés o sistema de suspensión que se instalará en el bipedestador a través de la Pieza 1, mostrada en la Figura 30, y se adapta a la cabeza del usuario mediante una especie de cinta o banda (Figura 31) que se conecta al soporte superior. Al estar la banda que rodea la cabeza unida al soporte superior a través de una cuerda, el mecanismo funciona como un “resorte” que ayuda a contrarrestar el peso de la cabeza dado que la cuerda trabaja a tracción. Con el fin de llevar a cabo simulaciones, la cuerda se ha simulado como se muestra en la Figura 32.

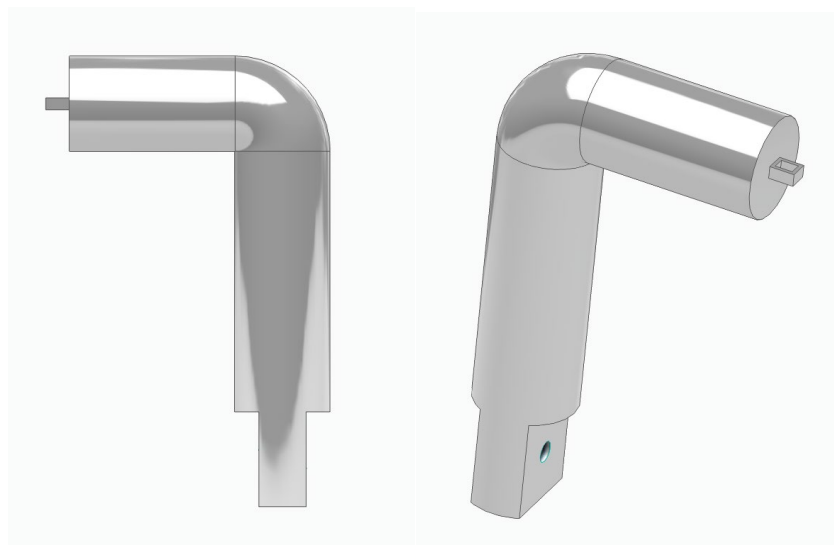


Figura 30: Pieza 1 sujeción cabeza: soporte.



Figura 31: Pieza 2 sujeción de cabeza: banda.

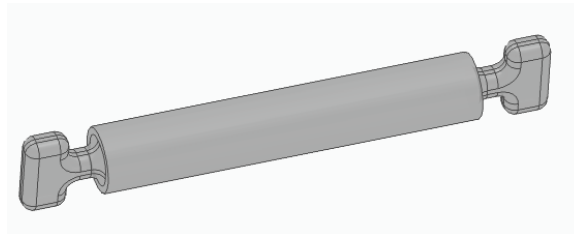


Figura 32: Pieza 3 sujeción de cabeza: cuerda.

En la Figura 30 se muestra el soporte fijo que crea la unión entre el bipedestador y el dispositivo de sujeción de cabeza diseñado. Esta pieza presenta un diseño cilíndrico en la mayor parte de su cuerpo, sin embargo, en su extremo distal, la geometría deja de ser completamente cilíndrica y se transforma en un eje de sección cuadrada con cuatro caras planas ortogonales. Este cambio de geometría permite encajar el accesorio adicional explicado sobre el acople existente del reposacabezas. En el dispositivo existente, el reposacabezas se implementa a través de una placa con distintos tornillos, será necesario añadir un agujero más que se corresponda con el tornillo propuesto en la parte plana del soporte fijo. De esta manera, la familia de Daniela podría implementar este nuevo sistema de sujeción de cabeza sobre el dispositivo que tiene en casa. Así se garantiza, además, un montaje rápido, seguro y sencillo sin necesidad de modificar a gran escala el sistema original.

A continuación, se muestra el conjunto final de la solución (Figura 33):



Figura 33: Conjunto final sujeción cabeza.

6.2 DIMENSIONAMIENTO

El dispositivo ha sido diseñado partiendo de diferentes estimaciones. La primera ha sido el perímetro craneal de una niña de siete años. Utilizando los datos de la Fundación Orbegozo en España [17], se ha extrapolado esta tabla de datos:

Tabla 6: Perímetro craneal de una niña de siete años.

<i>Percentil</i>	<i>Perímetro craneal (cm)</i>
P97	51,22
P90	50,29
P75	49,45
Mediana	48,66
P25	47,88
P10	47,01
P3	45,95

Se ha escogido un perímetro de 50cm para el diseño resultando en un radio de:

$$P = 2 * \pi * r \rightarrow r = \frac{P}{2 * \pi} = \frac{50 \text{ cm}}{2 * \pi} = 7,9577 \text{ cm} \quad [10]$$

Por otro lado, se ha supuesto que la fuerza máxima ejercida por la cabeza sobre la banda a través de la frente será de 100N. Para estimar la carga que debe soportar la banda de sujeción frontal, se ha considerado que el peso medio de la cabeza de una niña de siete años ronda los 3,5 kg, lo que se traduce en una fuerza vertical máxima teórica de aproximadamente 34 N si todo el peso de la cabeza recayera directamente sobre la banda. Sin embargo, solo una fracción de ese peso se transfiere a la frente, se estima que se trata de entre un 30% y 50%,

lo que implicaría una fuerza efectiva estimada entre 10 y 17 N. Además, es importante contemplar la posibilidad de movimientos bruscos o pérdida de control postural, que pueden generar picos de fuerza significativamente mayores. Por ello, siguiendo criterios de diseño ergonómico y biomédico, se recomienda aplicar un factor de seguridad de 2 a 5 veces la carga estimada, lo que implica que la banda debe estar preparada para resistir fuerzas de hasta 80–100 N en dirección frontal o ligeramente descendente.

En cuanto al soporte superior (Figura 30), su parte recta tiene una altura de 4 cm, estimación de cuanto se necesita para sobrepasar el reposacabezas. Toda la pieza tiene un diámetro de 40 cm, la parte vertical tiene una longitud de 40 cm, una altura de 11 cm y la horizontal de 70 cm.

Por otro lado, la elección de los materiales se función de la resistencia mecánica, bajo peso y compatibilidad biomédica. También se ha considerado la necesidad de evitar deformaciones plásticas por esfuerzos repetidos o prolongados. Además, se ha buscado utilizar materiales que similares a los del bipedestador, como aluminio, y para la banda (Figura 31), al estar en contacto con la cabeza del usuario, se ha buscado ligereza y la comodidad del usuario. Ésta última se ha diseñado con tres capas: la base estructural de acero 316L proporciona un soporte mecánico robusto y resistente. La capa intermedia de espuma viscoelástica médica absorbe eficazmente impactos y distribuye la presión, lo que protege la cabeza del usuario y mejora la comodidad durante el uso prolongado. La superficie de contacto de neopreno acolchado ofrece una sensación suave y agradable sobre la piel, evitando irritaciones y garantizando un contacto seguro e higiénico. El soporte (Figura 30) es de Aluminio 6061-T6 como muchas otras piezas del bipedestador. El material es ligero, resistente y fácil de mecanizar. Por último, la cuerda (Figura 32) se ha modelado de HMPE (Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular) ha sido seleccionada por su altísima resistencia a la tracción, bajo peso y excelente durabilidad, lo que asegura la fiabilidad del sistema de sujeción. En la Tabla 7 se muestra un resumen de los materiales utilizados:

Tabla 7: Materiales propuestos sujeción cabeza.

<i>Pieza</i>	<i>Material propuesto</i>	<i>Justificación técnica</i>
Pieza 1: soporte	Aluminio 6061-T6	Ligero, resistente y fácil de mecanizar.
Pieza 2: banda	Acero inoxidable 316L	Alta resistencia mecánica, inoxidable, biocompatible.
	Espuma viscoelástica médica	Absorción de impactos, confort, adaptabilidad anatómica.
	Neopreno acolchado	Tacto suave, antialérgico, fácil de limpiar, buena adaptación a la piel
Pieza 3: cuerda	HMPE (Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular)	Resistencia a tracción muy alta, ligero, resistente a la abrasión y humedad

6.3 *SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS*

Una vez diseñadas las piezas del accesorio en 3D, a través de Solid Edge, se ha realizado un análisis de elementos finitos (FEA) en la misma plataforma. Este análisis permite simular cómo se comporta un objeto o estructura bajo condiciones reales, sin necesidad de construirlo físicamente.

Para poder llevar a cabo la simulación se ha optado por mantener solo la banda que sujeta la cabeza del usuario y la cuerda, aplicándole al extremo libre de esta última la restricción de elemento fijo. Esto se ha realizado puesto que el soporte fijo (Figura 30) no recibe ninguna tensión debido a que la cuerda reacciona ante la fuerza aplicada por el usuario. El conjunto utilizado para la simulación se muestra en la Figura 34.

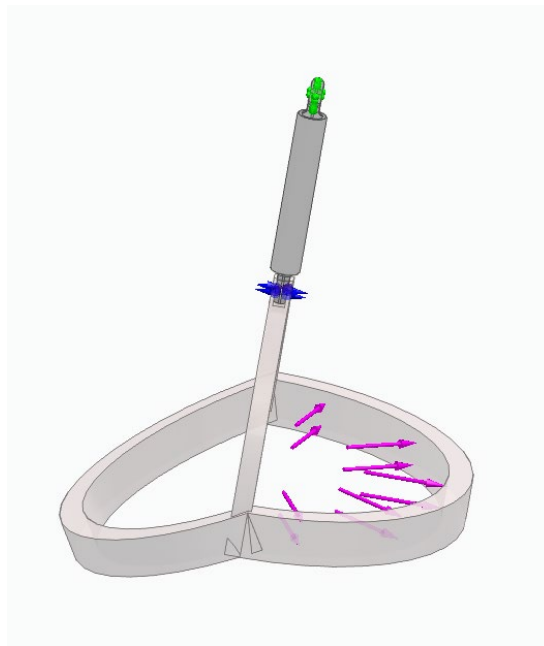


Figura 34: Conjunto simulación.

Sobre el diseño en 3D de la solución propuesta, se ha aplicado la estimación de la fuerza máxima que podría realizar Daniela con su cabeza definida anteriormente, como se muestra en la Figura 34. Por último, para simular el nudo que se haría con la cuerda se han implementado conectores de pegado entre las caras de la banda y la extremidad de la cuerda.

Como se ha explicado en el capítulo anterior, la tensión de Von Mises representa un criterio para evaluar el fallo de materiales dúctiles. Para estudiar la viabilidad estructural de la solución propuesta se ha llevado a cabo un FEA y se han estudiado el ensayo de tensión y de deformación total. En la Figura 35 se muestra la tensión equivalente de Von Mises que soportan las piezas de la solución diseñada tras aplicar la carga de 100 N y se indica la tensión máxima soportada.

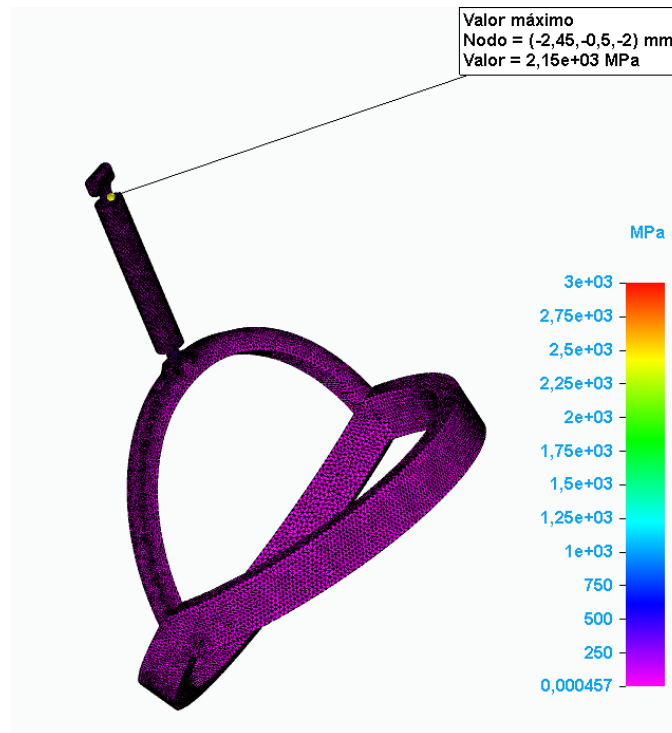


Figura 35: Distribución de tensión de VM (sujeción cabeza).

Una vez obtenida la tensión máxima del conjunto, 2150 MPa, es importante ver cuál de las dos piezas mostradas sufre tal tensión. Al ser las piezas de materiales diferentes, cada una de ellas tienen un límite de elasticidad diferente y por tanto una tensión crítica diferente, por lo que para determinar si la estructura rompería o no debido a la carga aplicada, hay que estudiar el punto crítico de cada una de las piezas. Para ello, en las figuras a continuación se muestran las tensiones máximas de cada una de las piezas y los nodos donde se encuentran.

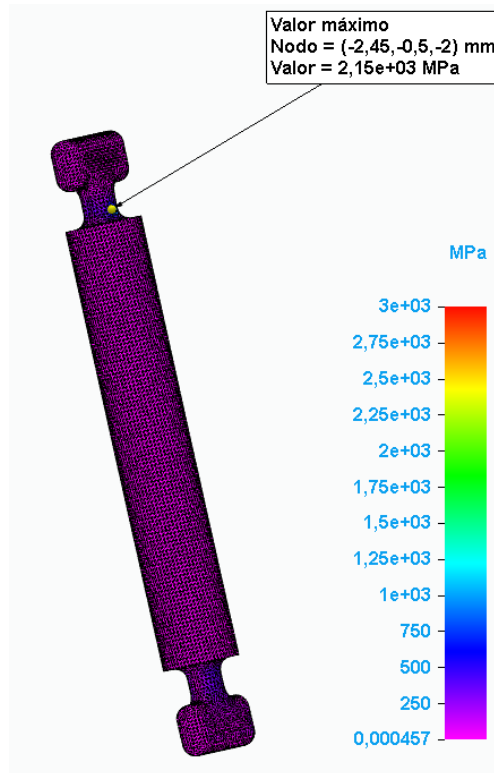


Figura 36: Distribución de tensión VM cuerda.

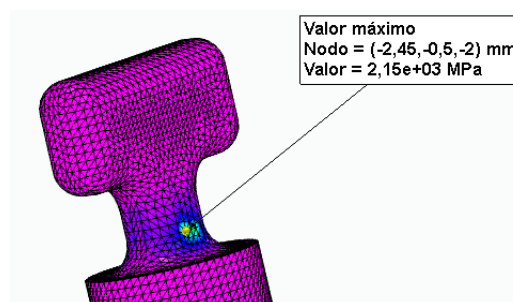


Figura 37: Punto crítico cuerda.

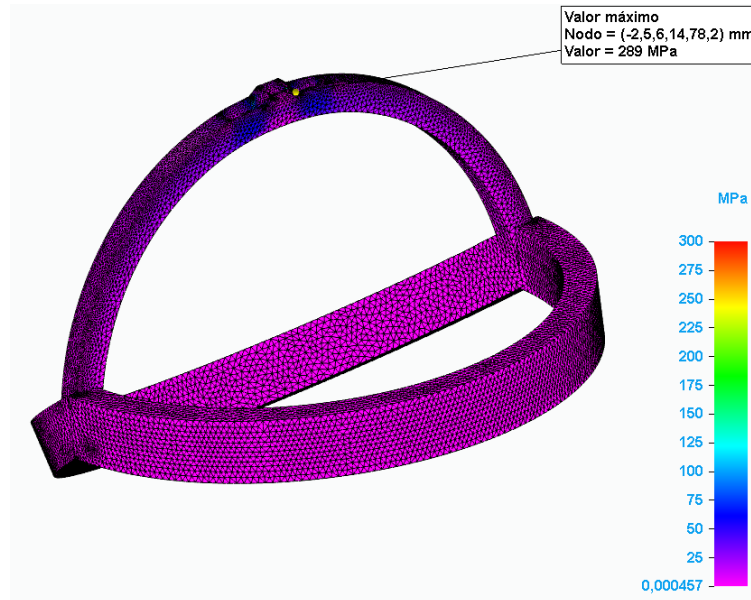


Figura 38: Distribución de tensión VM banda.

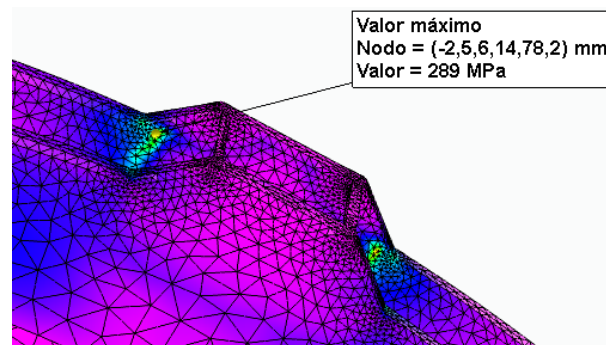


Figura 39: Punto crítico banda.

Analizando los puntos críticos de cada pieza y sus tensiones se observa que la tensión máxima de 2150 MPa la sufre la cuerda, mientras que la banda sufre una tensión máxima de 289 MPa. Una vez obtenidos estos valores, se han calculado los factores de seguridad asociados a cada una de las piezas según el límite de elasticidad de cada material seleccionado. En la Tabla 8 se recogen los módulos de elasticidad de los dos materiales:

Tabla 8: Módulo de elasticidad de los materiales (sujeción de cabeza).

<i>Material propuesto</i>	<i>Límite de elasticidad</i>
Acero inoxidable 316 L	290 MPa
HMPE (Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular)	2500 MPa

Con estos valores se hayan los factores de seguridad con los que trabajan las piezas:

$$n_{banda} = \frac{\sigma_e}{\sigma_{VM}} = \frac{290}{289} = 1,003 \quad [11]$$

$$n_{cuerda} = \frac{\sigma_e}{\sigma_{VM}} = \frac{2500}{2150} = 1,163 \quad [12]$$

Los factores de seguridad obtenidos son muy bajos y podrían parecer preocupantes, porque están muy cerca del límite de fallo. Sin embargo, en este caso no necesariamente significan que haya un problema real. Estos valores corresponden al extremo de la cuerda y a la superficie colindante con el extremo de la cuerda, es decir, en un prototipo físico corresponde a los nudos entre la cuerda y la banda y entre la cuerda y el soporte fijo. En la simulación estos puntos se han modelado como si estuvieran pegados o fijos, porque el software no permite representar nudos de forma realista.

En la realidad, esos extremos están sujetos mediante nudos, y los nudos actúan de forma distinta a una sujeción fija o pegada. Éstos distribuyen las tensiones de forma más uniforme y no generan las concentraciones de tensión que sí aparecen en la simulación por cómo se han definido las condiciones de contorno. Por este motivo, aunque la simulación presente factores de seguridad muy bajos en esas zonas, es importante señalar que, a pesar de esos valores bajos, la simulación no muestra fallo del material, lo que indica que el conjunto sigue siendo estructuralmente resistente bajo las condiciones planteadas. En definitiva, esos factores de seguridad se consideran aceptables porque responden más a una limitación del modelo que a un riesgo real de rotura. Lo importante es que el sistema en

conjunto no falla y que en los puntos donde realmente se concentra el esfuerzo en la vida real —es decir, en los nudos—, la representación del software no refleja fielmente cómo actúa la cuerda, por lo tanto, hay que interpretar esos resultados con criterio técnico.

Además, se debe recordar que se ha aplicado en la simulación una carga de 100 N. Esta carga ya incluye un factor de seguridad superior a 5 respecto a la carga estimada real, lo que proporciona más confianza en el diseño propuesto. Por tanto, considerando tanto la naturaleza conservadora del modelo como el sobredimensionamiento de la carga aplicada, se puede concluir que el prototipo es viable y cumple con los requisitos de seguridad y resistencia necesarios para su función.

Capítulo 7. ACCESORIO ADICIONAL: ACOUPLE MESA

7.1 DISEÑO

Como se ha mencionado previamente, el objetivo es rediseñar el acoplamiento de la mesa adicional para que poder aprovechar al máximo su funcionalidad. Para ello, se ha dividido el acoplamiento en tres piezas, dos de ellas fijas y una móvil. Gracias a esto, se consigue darle un cierto ángulo a la mesa a la hora de utilizarla, permitiendo así su uso tanto en la posición de decúbito supino como en la de decúbito prono.

El diseño consiste en tres piezas y un muelle. La primera pieza es fija y sirve de unión entre la mesa y el bipedestador. Como se muestra en la Figura 40, la pieza consiste en una base circular con 5 agujeros: los cuatro tornillos sobre el borde de la pieza garantizan la unión con la pieza 3 (explicada posteriormente) y el tornillo central proporciona la unión con el bipedestador. Como se observa en la Figura 41, la pieza tiene un hueco rectangular para insertar la pieza en la extensión correspondiente del bipedestador y poder así fijar la mesa.

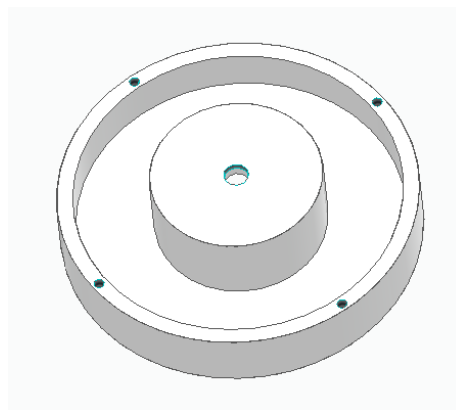


Figura 40: Pieza 1 vista desde arriba.

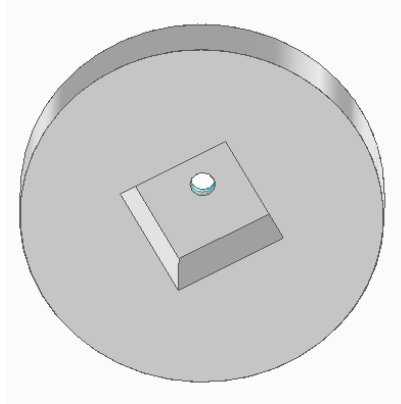


Figura 41: Pieza 1 vista desde abajo.

La segunda pieza es una pieza móvil. Ésta es la pieza donde se insertarán las barras de la mesa adicional y tiene en su base una serie de dientes gracias a los que se consigue darle posiciones a la mesa (Figura 42). Los dientes de la pieza 2 se encaja con los huecos correspondientes de la pieza 3, garantizando así la posibilidad de darle una inclinación a la mesa.

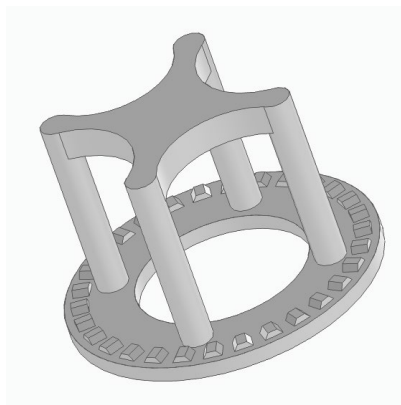


Figura 42: Pieza 2.

Por último, la pieza 3 es una pieza fija que une la segunda pieza con la primera pieza. Como se ve en la Figura 43, la pieza 3 tiene 4 tornillos gracias a los cuales se unifica el acople y en su interior dispone de huecos con la forma de los dientes de la pieza 2, para conseguir la inclinación de la mesa (Figura 44).

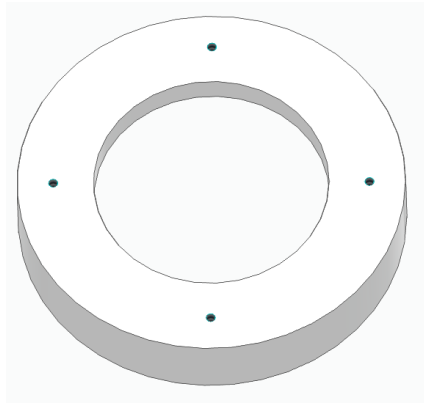


Figura 43: Pieza 3 vista desde arriba.

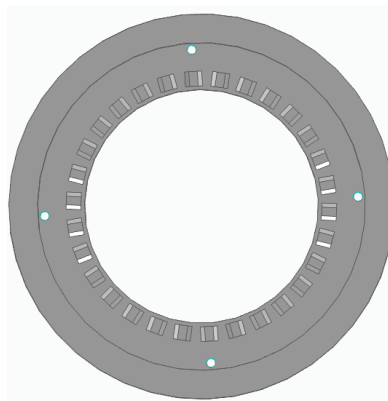


Figura 44: Interior pieza 3.

La idea consiste que haya cierta holgura entre la base inferior de la pieza 2 y la base interior de la pieza 1. En ese hueco se dispondrá un muelle cuya longitud natural será superior al espacio que hay entre las piezas. De esta manera, el muelle estará siempre comprimido y garantizará que la segunda pieza y la tercera pieza estén siempre en contacto. Además, los dientes asegurarán que las dos piezas encajen a la perfección y no deslicen la una con la otra. El conjunto se muestra en la Figura 45 a continuación:

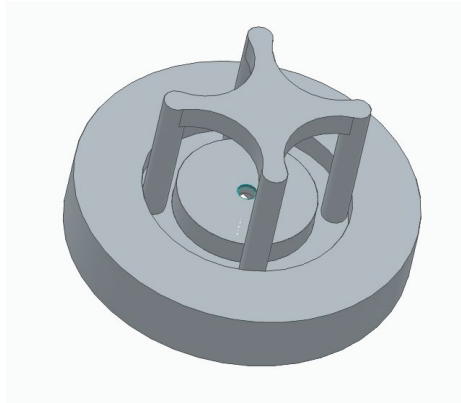


Figura 45: conjunto final acople mesa.

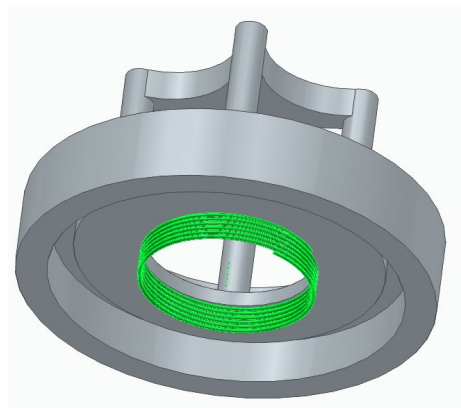


Figura 46: Conjunto final acople mesa sin la pieza 1 para mostrar el muelle.

El padre de Daniela empujará de la pieza 2, comprimiendo más el muelle, y la girará para proporcionarle en ángulo deseado a la mesa. Cuando deje de aplicar una fuerza sobre la pieza 2, el muelle tenderá a volver a su longitud natural lo que hará que la segunda y la tercera pieza encajen. Una vez se haya obtenido la posición del acople deseada, se atornillará conjunto de piezas al bipedestador a través de la pieza 1 y se insertarán las barras de la mesa que quedará colocada con la inclinación definida por el usuario previamente.

7.2 *DIMENSIONAMIENTO*

A la hora de dimensionar el acople, se ha partido de las dimensiones de las extensiones del bipedestador donde éste se acoplará y de las dimensiones de la mesa. Por esta razón, la pieza 1 (Figura 41) tiene un hueco en la base de forma cuadrada de lado 3,8cm, para que encaje a la perfección con el bipedestador. Además, las tres piezas encajan entre sí de tal manera que respeta el ancho entre las barras de la mesa adicional y de manera que el hueco para insertar estas barras se corresponde con las dimensiones de las mismas, 4cm. El resto de las medidas se han ajustado en función de éstas intentando asimilar la estética el máximo posible al acople existente.

Por otro lado, el material propuesto es Aluminio 6061-T6, material de que están hechas muchas de las piezas del bipedestador Standz. Se ha escogido este material para las piezas del acople de la mesa debido a su resistencia mecánica, ligereza y durabilidad. Esta aleación ofrece una alta capacidad para soportar cargas y esfuerzos sin deformarse garantizando la estabilidad y seguridad del conjunto. Además, se trata de un material fácil de mecanizar y que permite acabados superficiales de alta calidad, lo que contribuye a la estética final del producto.

El acople ha sido diseñado suponiendo que el peso máximo que se dispondrá sobre la mesa será de 20Kg. Siendo simétrica la estructura completa (mesa + acople), se ha supuesto que la fuerza total que uno de los acoples soporta es la debida a un peso de 10Kg. Por lo tanto, el acople sufrirá esa fuerza y el momento debido a esa fuerza, siendo la longitud entre el extremo de la barra y el acople de 43cm:

$$F = 9,81 * 10 = 98,1 \text{ N} \quad [13]$$

$$M = F * 0,43 = 42,183 \text{ N} \quad [14]$$

Además, el acople siente las fuerzas de pretensión de los tornillos involucrados: los cuatro tornillos que unen la pieza 1 (Figura 40) con la pieza 3 (Figura 43). La fuerza de pretensión se calcula de la según la siguiente ecuación:

$$F_{pretensión} = ca * At * Rp \quad [15]$$

Siendo:

- ca = coeficiente de apriete;
- At = Área resistente para dicha métrica en mm^2 ;
- Rp = Límite elástico para dicha calidad en MPa.

Para los tornillos entre las dos piezas se han escogido tornillos M4 DIN 965 calidad 4.8. A continuación se muestran los datos característicos de estos tornillos (Tabla 9):

Tabla 9: Datos tornillos mesa

<i>Medida</i>	<i>M4 DIN 965 calidad 4.8</i>
ca	0,75
$At (\text{mm}^2)$	8.78
$Rp (\text{MPa})$	320

De ahí obtenemos:

$$F(M4) = 0,75 * 8,78 * 320 = 2,11 \text{ KN} \quad [16]$$

Por último, el acople siente la fuerza que ejerce el muelle al estar comprimido en todo momento. El muelle propuesto es de acero ($E=210 \text{ GPa}$ y $\mu=0,3$) y tiene un diámetro del alambre de 1 mm (d), una longitud libre de 12 mm (L), un paso de 1,64 mm (p) y un diámetro medio de la espira de 28 mm. A partir de las dimensiones del muelle se obtiene el constante elástica de este mismo (Ecuación [17]).

$$k = \frac{G * d^4}{8 * D^3 * n} \quad [17]$$

Donde n es el número de vueltas que se haya como:

$$n = \frac{L}{p} = \frac{12}{1,64} = 7,31 \cong 7 \text{ vueltas} \quad [18]$$

y G es el módulo de rigidez, y se calcula como:

$$G = \frac{E}{2*(1+\mu)} = \frac{210*10^6}{2*(1+0,3)} = 80,769 \text{ MPa} \quad [19]$$

De esta manera, la constante de rigidez aplicando la ecuación [17] resulta en $k=7,54 \text{ KN/m}$.

El muelle se encuentra en una holgura de 10mm entre la pieza 1 y la pieza 2 como se mostraba en la Figura 46, de esta manera la fuerza que ejerce el muelle sobre el acople es de:

$$F_{muelle} = -k * \Delta x = -7,54 * 10^3 * (0,010 - 0,012) = 15,08 \text{ N} \quad [20]$$

7.3 *SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS*

La solución propuesta se ha modelado en 3D y se ha realizado un análisis de elementos finitos (FEA). El análisis por elementos finitos es una herramienta fundamental para predecir el comportamiento estructural, térmico y dinámico de componentes y sistemas complejos. Permite simular cómo se comporta un objeto o estructura bajo condiciones reales, sin necesidad de construirlo físicamente.

Sobre el diseño en 3D de la solución propuesta, se han aplicado las fuerzas explicadas en la sección anterior y se han estudiado el comportamiento del diseño. En las figuras a continuación se muestra el acople diseñado con las fuerzas aplicadas y las restricciones pertinentes.

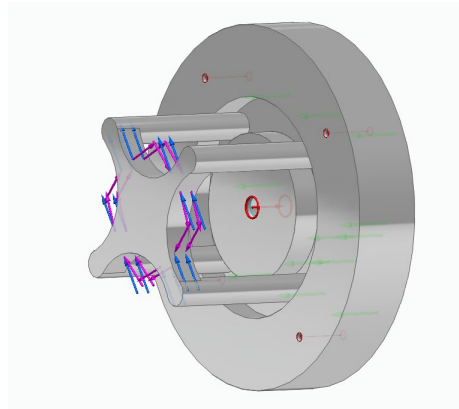


Figura 47: Cargas debidas al peso sobre la mesa.

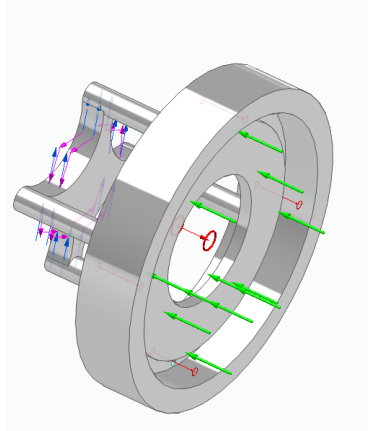


Figura 48: Fuerza ejercida por el muelle.

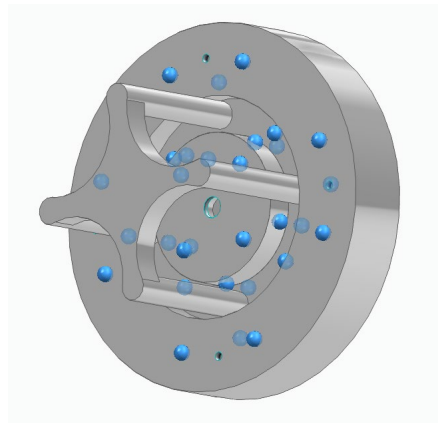


Figura 49: Restricciones aplicadas (acople mesa).

En las Figura 47 y Figura 48 se muestran las fuerzas que sufre el acople una vez implementado sobre el bipedestador. En azul se muestra la fuerza $F=98,1 \text{ N}$ (Ecuación [13]), en rosa el par $M=42,183 \text{ N}\cdot\text{m}$ (Ecuación [14]) y en verde la fuerza que ejerce el muelle, $F_{\text{muelle}}=15,08 \text{ N}$ (Ecuación [20]). Además, en rojo se muestra los conectores de los tornillos, donde se aplicarán las fuerzas de pretensión de cada uno de ellos, $F(M4)= 2,11 \text{ KN}$ (Ecuación [16]). Por último, en la Figura 49, las esferas azules representan las restricciones aplicadas. En este caso las caras donde se encuentran se han marcado como fijas.

Una vez aplicadas las fuerzas y las restricciones, se ha llevado a cabo el análisis de elementos finitos. Dentro de este análisis se han destacado dos simulaciones: la tensión

según el criterio de Von Mises (Figura 50 y Figura 51) y la deformación total (Figura 53, Figura 54, Figura 55, Figura 56).

Dentro del análisis de elementos finitos, la tensión de Von Mises representa un criterio para evaluar el fallo de materiales dúctiles, como el aluminio. Comparando esta tensión con el límite elástico del material se puede determinar si una estructura está trabajando dentro de su rango seguro o si existe riesgo de fallo y se obtiene el factor de seguridad con el que trabaja el acople.

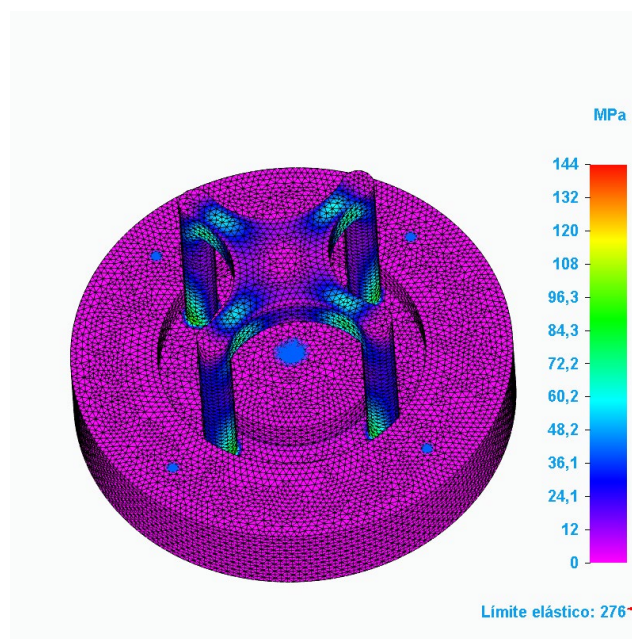


Figura 50: Simulación tensión VM vista desde arriba (acople mesa).

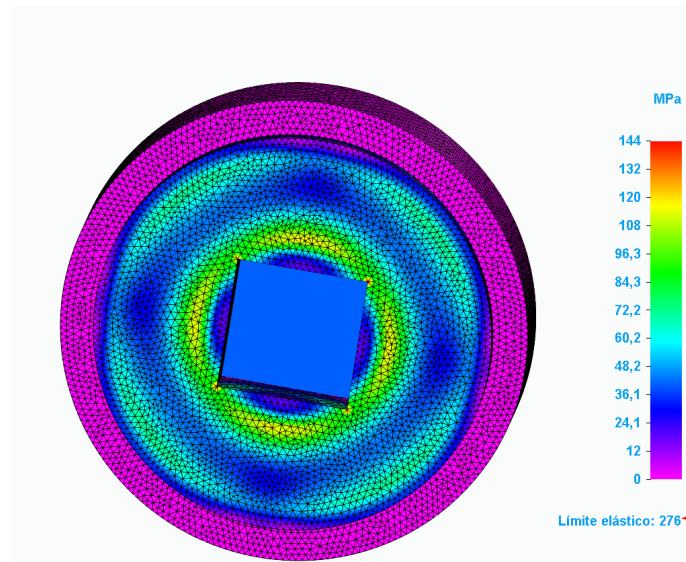


Figura 51: Simulación tensión VM vista desde abajo (acople mesa).

Como se observa en la Figura 50 y en la Figura 51, la mayor parte del acople sufre una tensión equivalente de Von Mises muy pequeña. Hay una mayor distribución de tensión sobre los cuatro cilindros de la pieza 2 (Figura 42) entre los cuales se insertan las barras de la mesa y sobre la parte posterior del acople. Los puntos con tensión más elevada son las cuatro esquinas de la parte inferior de la pieza 1 (Figura 41 y Figura 52). Esto era de esperar al tratarse de esquinas rectas dado que las esquinas rectas o ángulos agudos crean concentraciones de tensiones. En estos puntos el flujo de tensiones no puede distribuirse suavemente, como sí lo haría en una curva. Por esta razón, lo ideal siempre es cambiar de pendiente gradualmente. Sin embargo, este corte de sección cuadrada está diseñado así para acoplar a la perfección con las extensiones del bipedestador donde se implementa el acople de la mesa. Al tratarse de una tensión equivalente de Von Mises de 144 MPa, muy inferior al límite elástico (276 MPa), no se considera necesario redondear las esquinas.

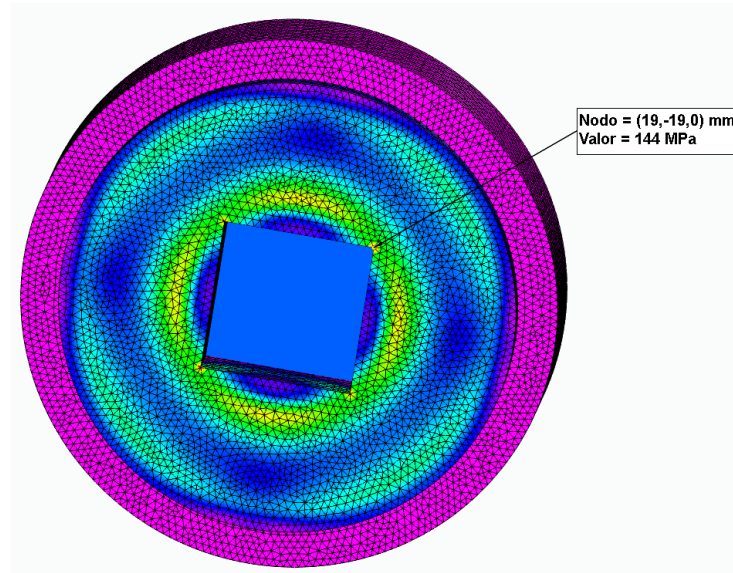


Figura 52: Puntos de tensión máxima (acople mesa).

La tensión máxima según este criterio resulta en 144 MPa lo que deriva en un factor de seguridad de:

$$n = \frac{\sigma_e}{\sigma_{VM}} = \frac{276}{144} = 1,916 \quad [21]$$

Por último, cabe destacar el análisis del desplazamiento total. Éste permite evaluar la deformación general del dispositivo sometido a cargas. La traslación total releva si la pieza mantiene su funcionalidad y estabilidad. A continuación, se muestran cuatro imágenes de este análisis. Las dos primeras muestran una vista exagerada el desplazamiento para identificar bien que puntos son los que más se desplazan, por otro lado, las dos últimas muestran como se ve el acople realmente tras sufrir estos desplazamientos. Se ha decidido mostrar la vista exagerada para entender mejor el movimiento de las piezas.

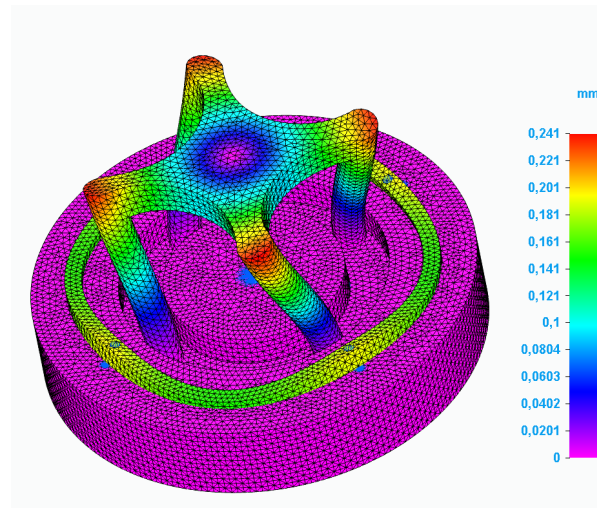


Figura 53: Traslación total vista exagerada (acople mesa).

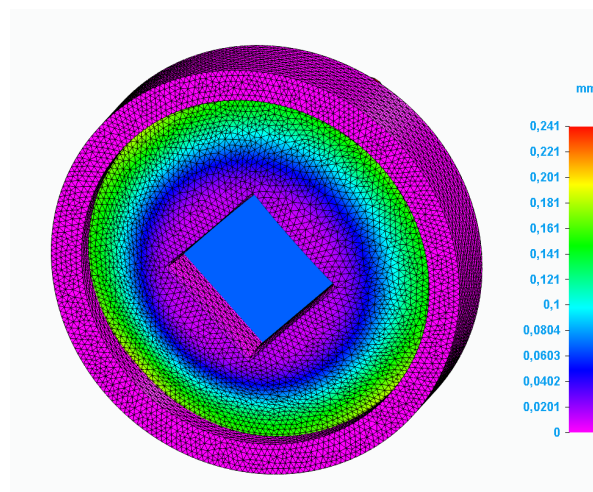


Figura 54: Traslación total vista exagerada 2 (acople mesa).

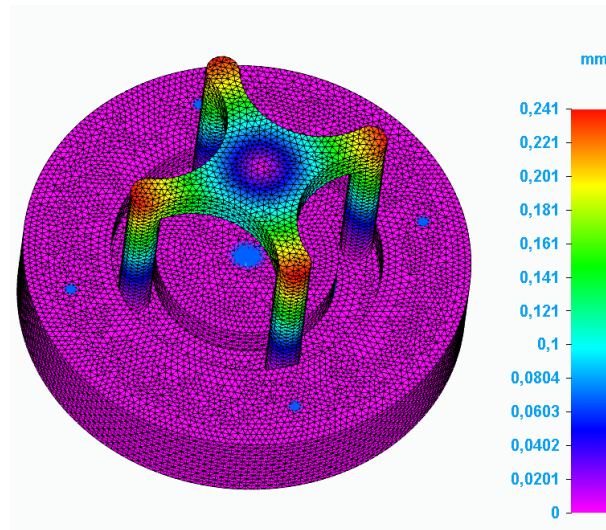


Figura 55: Traslación total vista real (acople mesa).

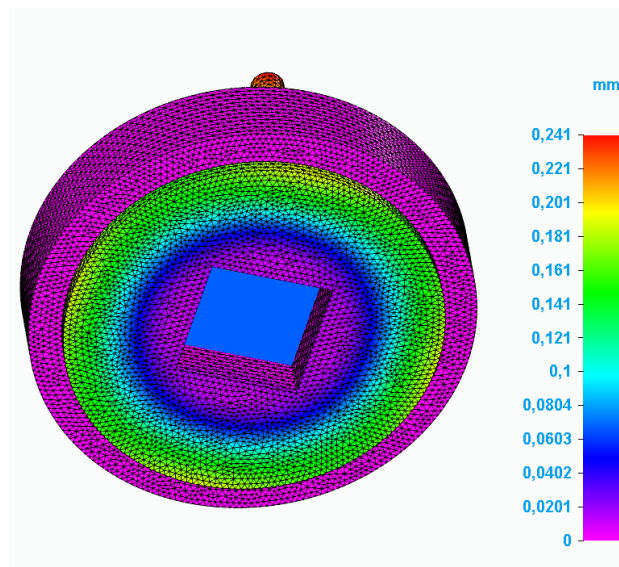


Figura 56: Traslación total vista real 2 (acople mesa).

El análisis de traslación total realizado sobre el conjunto muestra una deformación máxima de 0,241 mm, concentrada en la parte superior de la pieza 2, como se observa en la Figura 55. Este valor puede considerarse aceptable por dos razones. La primera es que se encuentra dentro de un rango bajo en comparación con las dimensiones generales de la pieza

lo que conlleva que no compromete la integridad estructural ni la funcionalidad de la mesa. Además, la deformación es progresiva, sin presencia de concentraciones bruscas que indiquen riesgo de inestabilidad.

Capítulo 8. PRESUPUESTO Y VIABILIDAD

ECONÓMICA

La elaboración de un presupuesto y el análisis de la viabilidad económica son pilares fundamentales en cualquier proyecto, ya que permiten transformar una idea inicial en una propuesta realista y ejecutable. El presupuesto define los recursos necesarios —humanos, materiales y financieros—, y actúa como una herramienta de planificación y control, facilitando la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida del proyecto.

En este proyecto el presupuesto representa la inversión que Carlos, el padre de Daniela, tendría que hacer para implementar las soluciones propuestas en el bipedestador que tiene en casa. Para ello se han tenido en cuenta el coste de los materiales y el coste de fabricación.

Tabla 10: Presupuesto específico para el cliente.

	COSTE UNITARIO (€) (por cantidad mínima de compra)	CANTIDAD	CANTIDAD MÍNIMA DE VENTA	SUBTOTAL (€)
MATERIALES				
Pistón de gas ISO 15552	161,29	1	1	161,29 €
Aluminio 6061-T6 (kg)	2,8	31,147	500	2,80 €
Acero inoxidable (kg)	1180,8	0,001	1000000	1.180,80 €
HMPE (metros)	11,88	0,098	1	11,88 €
FABRICACIÓN				
Fabricación				2.900,00 €
Acabado				520,00 €
Montaje				160,00 €
TOTAL				4.936,77 €

Como se puede observar en la Tabla 10, el coste total del proyecto es un poco elevado (4.936,77 €). Esto se debe en gran medida a que los proveedores de materiales exigen una cantidad mínima de compra, que supera con creces la cantidad necesaria para implementar estas modificaciones en un solo bipedestador. Además, se incluye un coste de montaje puesto que el cliente no puede implementar por sí solo el sistema de elevación vertical propuesto. Para hallar el valor del coste de montaje (160,00 €) se ha supuesto un tiempo estimado de montaje de 4 horas a un precio de 40 euros/hora.

Este presupuesto se ha realizado considerando el escenario más desfavorable, es decir, suponiendo que Carlos debe adquirir todos los materiales y encargar la fabricación de las piezas como cliente individual, sin poder beneficiarse de economías de escala ni de acuerdos especiales con proveedores. En esta situación, la cantidad mínima impuesta por los proveedores genera un gasto extra importante. De la misma manera, la fabricación de las piezas debe subcontratarse a empresas especializadas en mecanizado o fundición, lo que incrementa el coste unitario al no poder repartirse los gastos fijos entre varios ejemplares. Aunque es posible que, tras negociar con proveedores o recurrir a empresas especializadas, se puedan obtener mejores precios o ajustar los mínimos de compra, para este análisis se ha optado por reflejar el coste real al que se enfrentaría un usuario particular en el peor de los casos, garantizando así la máxima transparencia y realismo en la estimación económica.

Como el coste final para un cliente aislado resulta un poco elevado, se ha desarrollado también un estudio económico orientado a empresa con el fin de facilitar al usuario la ejecución de las adaptaciones planteadas. Para ello, se han realizado tanto un nuevo presupuesto como un estudio de viabilidad económica. La viabilidad económica determina si el proyecto es sostenible a largo plazo y si generará el retorno esperado sobre la inversión. Evaluar esta viabilidad implica analizar costes, ingresos, riesgos y beneficios, lo que permite anticiparse a posibles desviaciones y garantizar un uso eficiente de los recursos. Para ello se han de calcular el VAN, valor actual neto, y la TIR, tasa interna de retorno.

Se ha desarrollado el presupuesto estimado de este proyecto si la empresa decidiera ejecutar todas las adaptaciones en una fábrica, en el que se refleja una estimación detallada

y realista de los costes asociados al desarrollo, fabricación y consultoría del proyecto. Los costes principales, en este caso, corresponden al desarrollo de ingeniería (licencia de software y simulaciones FEA). Éstos representan una parte significativa del total, seguidos por los costes de fabricación y consultoría profesional. Se puede ver como el coste total aumenta significativamente, puesto que hay más variables a tener en cuenta. Por un lado, los costes de desarrollo que aumentan significativamente el coste final (6.868,80 €) y, por otro lado, se puede ver que ha aumentado también el coste de montaje. En este caso se ha supuesto un periodo de montaje de 5 horas en vez de 4 horas dado que las soluciones propuestas para el acople de la mesa y la sujeción de la cabeza en el presupuesto específico para un cliente aislado se han contemplado como implementadas por el cliente. Por último, se ha añadido un coste adicional de consultoría que se había omitido en el presupuesto anterior porque, durante el desarrollo de este proyecto, se mantuvo una reunión con una fisioterapeuta para validar las ideas propuestas. La consulta con una fisioterapeuta es fundamental en el desarrollo y validación de dispositivos de rehabilitación como el bipedestador pasivo, ya que aporta el conocimiento clínico necesario para garantizar la seguridad, la eficacia y la adecuación funcional de las soluciones propuestas. Además, colaborar con una fisioterapeuta resulta aún muy interesante en el caso del prototipo de la sujeción de cabeza, ya que este componente requiere un ajuste muy preciso a las características individuales de cada niño. La fisioterapeuta puede identificar, tras las primeras pruebas, si el diseño necesita modificaciones en la forma, el material o el sistema de ajuste, asegurando así que la sujeción cumpla su función sin generar molestias, restricciones innecesarias o riesgos de lesión. Además, su experiencia clínica permite anticipar y corregir posibles complicaciones. Si se llevara a cabo la idea para la sujeción de la cabeza a gran escala, lo ideal sería tener varias sesiones con un fisioterapeuta para validar el prototipo físico y hacer los ajustes necesarios para que la solución sirva para cualquier niño o niña con discapacidad.

Una vez estimado el presupuesto se ha llevado a cabo un estudio de viabilidad económica donde se han resaltado el VAN y la TIR para ver la rentabilidad del proyecto, mostrado en la Tabla 14. Para llevar a cabo este estudio, se ha supuesto una producción inicial de 150 unidades. Esta suposición se ha hecho tras un análisis riguroso de la demanda potencial,

considerando tanto la incidencia de enfermedades que justifican su uso como la realidad socioeconómica del mercado español. Los bipedestadores pasivos están indicados principalmente para personas, especialmente niños, que presentan patologías neurológicas y musculares que les impiden mantenerse de pie por sí mismos. Entre las enfermedades más relevantes destacan: parálisis cerebral, distrofias musculares, retrasos motores graves y otras enfermedades neurológicas, como síndromes genéticos, lesiones medulares y encefalopatías [1] [18]. En España, en 2024, se registraron aproximadamente 322.034 nacimientos. De acuerdo con la incidencia estimada de las enfermedades mencionadas, alrededor de 1.500 niños al año podrían llegar a necesitar un bipedestador pasivo en algún momento de su desarrollo, sumando los casos de parálisis cerebral grave, distrofias musculares y retrasos motores severos [19], [20], [21]. Una vez obtenido este dato, 1.500 personas, se ha decidido fijar la producción en 150 unidades. Esto corresponde a 10% de la población estimada que podría beneficiarse del dispositivo y se debe a cuatro factores principales:

- Accesibilidad económica: no todas las familias se pueden permitir adquirir un bipedestador propio.
- Sustitución y renovación: algunas familias pueden ya disponer de otro modelo en casa.
- Uso institucional: una parte significativa de los usuarios utiliza bipedestadores solo en centros médicos.
- Estimación prudente: Adoptar un porcentaje bajo permite ajustar la producción a una demanda realista, evitando sobreoferta y optimizando los recursos del proyecto.

Tabla 11: Presupuesto orientado a empresa de una unidad (se pueden comparar los valores que aumentan).

	COSTE UNITARIO (€) (por cantidad mínima de compra)	CANTIDAD	CANTIDAD MÍNIMA DE VENTA	SUBTOTAL (€)
DESARROLLO				
Software: Solid Edge	2868,88	1	1	2.868,80 €
Simulaciones FEA (horas ingeniería)	80/h	50	1	4.000,00 €
MATERIALES				
Pistón de gas ISO 15552	161,29	1	1	161,29 €
Aluminio 6061-T6 (kg)	2,8	31,147	500	2,80 €
Acero inoxidable (kg)	1180,8	0,001	1000000	1.180,80 €
HMPE (metros)	11,88	0,098	1	11,88 €
FABRICACIÓN				
Fabricación				2.900,00 €
Acabado				520,00 €
Montaje				200,00 €
CONSULTORIA				
Fisioterapeuta (10 sesiones)	100/sesiones	10 sesiones		1.000,00 €
TOTAL				12.845,57 €

Tabla 12: Presupuesto estimado con una producción de 150 unidades.

	COSTE (€) (por cantidad mínima de compra)	CANTIDAD	CANTIDAD MÍNIMA DE VENTA	SUBTOTAL (€)
DESARROLLO				
Software: Solid Edge	2868,88	1	1	2.868,80 €
Simulaciones FEA (horas ingeniería)	80/h	50	1	4.000,00 €
MATERIALES				
Pistón de gas ISO 15552	161,29	150	1	24.193,50 €
Aluminio 6061-T6 (kg)	2,8	4672,05	500	26,16 €
Acero inoxidable (kg)	1180,8	0,15	1000000	1.180,80 €
HMPE (metros)	11,88	14,7	1	174,64 €
FABRICACIÓN				
Fabricación				435.000,00 €
Acabado				78.000,00 €
Montaje				30.000,00 €
CONSULTORIA				
Fisioterapeuta (10 sesiones)	100/sesiones	10 sesiones		1.000,00 €
TOTAL				576.443,90 €

El primer paso ha sido calcular la inversión inicial que se debe hacer el primer año. Para ello, los costes se han dividido en dos categorías principales: el coste de desarrollo del proyecto obtenido del presupuesto (576.443,90 €) y el coste de adquirir 150 bipedestadores (2.466 € por las 150 unidades), resultando en una inversión inicial total de 946.343,9 € (Tabla 13). Tras ello, se ha fijado el precio de venta de cada unidad en 6.625,5€ y se han obtenido los ingresos anuales, como se muestra en la Tabla 13, que serán constantes a lo largo de los 5 años estudiados. Es importante señalar que, debido a la falta de información sobre el coste de fabricación y producción del bipedestador *Standz*, se ha optado por realizar el estudio de viabilidad como si las adaptaciones se realizaran en el mercado secundario (*aftermarket*). Si

se pudiera integrar la adaptación directamente en el proceso de fabricación con el fabricante original, los costes unitarios serían previsiblemente menores y el precio de venta podría reducirse. Sin embargo, al no disponer de estos datos, el análisis se ha realizado bajo este supuesto, lo que implica que tanto los costes como el precio de venta resultan más elevados de lo que podrían ser en realidad.

Una vez definido el precio de venta, se han calculado los flujos de cajas de cada uno de los 5 años con el objetivo de hallar el VAN y la TIR.

Tabla 13: Coste total e ingresos estimados primer año (150 unidades).

VIABILIDAD ECONÓMICA

Coste total	
Coste del proyecto	576.443,90 €
Unidades compradas	150
Coste unidades compradas	2.466,00 €
	946.343,90 €
Ingresos estimados	
Unidades vendidas/año	150
Precio de venta	6.265,50 €
	939.825,00 €
Aumento de precio	3.799,50 €

Tabla 14: VAN y TIR (5 años, 10%, 150 uds/año).

Cálculo de Valor Actual Neto y de la Tasa Interna de Retorno

	Flujo de cajas	Tasa de descuento	Valor presente
1 -	6.518,90 €	0,1	-5926,272255
2	2.530,70 €	0,1	2091,488033
3	2.530,70 €	0,1	1901,352757
4	2.530,70 €	0,1	1728,502507
5	2.530,70 €	0,1	1571,365915
VAN			1366,44 €
TIR			20%

Como se ve en la Tabla 14, el flujo de cajas, es decir, la diferencia entre los ingresos y los costes, es diferente el primer año. En el primer año, el flujo de caja es significativamente menor (incluso negativo) debido a la inversión inicial, que incluye todos los gastos únicos y la compra de una tonelada de acero inoxidable 316L (cantidad mínima), marcados en naranja en la Tabla 12. En los años siguientes, los flujos de caja mejoran porque estos costes iniciales ya no se repiten, y solo se asumen los costes variables y recurrentes de producción y venta. Pese al flujo negativo el primer año, el VAN de 1.366,44 € indica que, descontando todos los flujos de caja futuros al presente con una tasa del 10%, el proyecto genera un valor adicional positivo sobre la inversión inicial. Además, la TIR del 20% representa la tasa de descuento a la que el VAN sería igual a cero. Es decir, al ser esta mayor que la tasa de descuento se puede concluir que el proyecto es rentable.

Por último, hay que resaltar dos valores. Por un lado, el beneficio obtenido a partir del segundo año por dispositivo vendido es de 16,87 € (2530,7/150). Por otro lado, en la Tabla 14 cabe destacar el aumento de precio propuesto de 3.799,50 €. Este valor a simple vista puede parecer elevado, sin embargo, es un 23% inferior al coste supondría al particular realizar las modificaciones por su cuenta (4.936,77 €), no solo se garantiza un ahorro económico directo, sino también una implementación técnica profesional, evitando riesgos de errores o sobrecostes imprevistos. Además, el precio de venta fijado contempla ejecutar las tres adaptaciones planteadas en este proyecto simultáneamente, por lo que si un cliente quisiera adquirir el bipedestador sin alguna de ellas el precio disminuiría.

Capítulo 9. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El presente trabajo ha abordado la creación y desarrollo del diseño de soluciones innovadoras para mejorar la funcionalidad y la accesibilidad del bipedestador *Standz JENX Jiraffe*, utilizado por Daniela, una niña con discapacidad motora severa. El objetivo principal de este trabajo ha sido mejorar la calidad de vida de la usuaria y de su familia, respondiendo a necesidades reales identificadas en el uso diario del dispositivo por Carlos, el padre de Daniela. Para ello, se han planteado tres soluciones: un sistema de basculación asistida, un soporte para la cabeza y un nuevo sistema de acople para la mesa auxiliar. La metodología utilizada ha incluido análisis del estado del arte, asesoramiento con expertos, modelado 3D, simulación por elementos finitos e investigación técnica de los materiales y mecanismos propuestos.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que se han cumplido los objetivos iniciales, aportando soluciones viables, seguras y adaptables al producto existente. Además, se ha seguido un enfoque centrado en el usuario, involucrando a la familia y profesionales sanitarios en la toma de decisiones, lo que ha garantizado la pertinencia y aplicabilidad de los diseños propuestos. Cabe resaltar que los estudios sobre los beneficios de la bipedestación en niños con discapacidad motora severa es aún limitada, pero todos ellos coinciden en que el uso de estos dispositivos mejora la función motora, la estabilidad de caderas, la densidad ósea y la participación social, especialmente cuando la intervención es personalizada y adaptada a las necesidades individuales [22], [23], [24]. Este proyecto, por tanto, no solo contribuye a la mejora de un caso concreto, sino que sienta las bases para futuras adaptaciones y desarrollos en el ámbito de la rehabilitación infantil.

El rediseño del sistema de basculación ha permitido implementar un mecanismo de elevación vertical mediante un pistón de gas, facilitando la transferencia de la usuaria al dispositivo y reduciendo significativamente el esfuerzo físico requerido por los cuidadores. El análisis estructural y las simulaciones por elementos finitos han demostrado que la

solución es segura y estable. La elección del pistón, siguiendo la norma ISO 15552, garantiza la intercambiabilidad y la durabilidad del sistema. Además, la solución ha sido diseñada con la intención de cambiar el mínimo posible el bipedestador existente, permitiendo su implementación sin grandes modificaciones estructurales. Este avance responde a una necesidad real y frecuente en el ámbito de la rehabilitación pediátrica, como indicó Jordi Gispert la reunión mantenida con él. El crecimiento del paciente suele suponer un reto para la manipulación de los dispositivos por parte de las familias y de los cuidadores.

El diseño del soporte de cabeza, inspirado en sistemas tipo *headpod*, proporciona un apoyo dinámico que permite el movimiento natural de la cabeza y evita caídas involuntarias debidas al cansancio. La simulación estructural ha validado la resistencia de los materiales seleccionados (acero inoxidable y HMPE). Aunque los factores de seguridad sean bajos en los puntos de máxima tensión, se han considerado aceptables dadas las condiciones reales de uso y la distribución de esfuerzos en los nudos. La solución es ergonómica, ligera y fácilmente desmontable, y por lo tanto puede usarse solo cuando sea necesario, evitando molestias innecesarias. Este tipo de soporte contribuye a la corrección postural y a la prevención de complicaciones secundarias como contracturas o dolor cervical, ampliamente reconocidas en la literatura especializada [22], [24].

El nuevo sistema de acople para la mesa resuelve la limitación funcional detectada en la posición de decúbito prono, permitiendo ajustar el ángulo en el que se adhiere la mesa y garantizando la estabilidad de los objetos colocados. El diseño a tres piezas y muelle permite una instalación rápida y segura, y la selección del aluminio 6061-T6 garantiza resistencia suficiente a cargas frecuentes comunes y compatibilidad con el dispositivo existente. Las simulaciones han confirmado que las tensiones y deformaciones se mantienen dentro de los límites admisibles, y el factor de seguridad es superior al mínimo requerido. Esta mejora incrementa la funcionalidad del bipedestador y fomenta la participación de la usuaria en actividades educativas y recreativas, aspecto fundamental para su desarrollo integral [9], [22], [23].

Aunque se ha logrado desarrollar soluciones técnicas viables, existen varias limitaciones con el proyecto. En primer lugar, la validación se ha realizado mediante simulación y modelado 3D, por lo que es recomendable realizar ensayos experimentales con prototipos físicos para evaluar el comportamiento real de los sistemas bajo condiciones de uso prolongado. En segundo lugar, la personalización de los diseños responde a las necesidades de una usuaria concreta y a un bipedestador en concreto, por lo que podrían requerirse ajustes adicionales para su aplicación a otros casos.

A partir de los resultados y de las limitaciones identificadas se proponen las siguientes líneas de trabajo:

- **Prototipado y Validación Experimental:** Fabricar prototipos físicos de los sistemas diseñados y realizar pruebas en condiciones reales de uso.
- **Adaptación y Escalabilidad:** Desarrollar versiones adaptadas de los sistemas para diferentes tallas y necesidades.
- **Evaluación Clínica y Funcional:** Cooperar con equipos interdisciplinarios (rehabilitadores, fisioterapeutas, terapeutas ocupacionales) para evaluar el efecto psicológico y funcional de las mejoras implementadas sobre los pacientes.
- **Optimización de Materiales y Costes:** Investigar alternativas de materiales y procesos de fabricación que permitan reducir costes sin comprometer la seguridad ni la durabilidad, facilitando así la accesibilidad de estas soluciones a un mayor número de familias.

En definitiva, este trabajo ha demostrado la importancia de la ingeniería orientada a la mejora de la calidad de vida de personas con discapacidad. Éste refleja la importancia de la colaboración entre familias, profesionales e ingenieros. Las soluciones propuestas, aunque centradas en un caso concreto, pueden servir de referencia para el desarrollo de dispositivos más accesibles, funcionales y personalizados en el ámbito de la rehabilitación infantil. Este proyecto abre las puertas a la innovación y a la investigación, con el objetivo de garantizar la inclusión y el bienestar de todos los niños y niñas, independientemente de sus capacidades.

Capítulo 10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «La importancia de la bipedestación en niños con discapacidad», *Sunrise Medical*, 15 de octubre de 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.sunrisemedical.es/blog/bipedestacion-ninos-con-discapacidad>
- [2] Gestinet, «Bipedestador para Poner de Pie a Niños con Discapacidad», Supace. [En línea]. Disponible en: <https://supace.com/bipedestador-para-poner-de-pie-a-ninos-con-discapacidad/>
- [3] Ginny Paleg, «Understanding Supportive Standing Devices», *Cerebral Palsy Foundation*, 25 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://cpresource.org/topic/mobility-equipment-and-orthotics/understanding-supportive-standing-devices>
- [4] «Standz - Bipedestador para decúbitos prono y supino - Rehagirona». [En línea]. Disponible en: <https://www.rehagirona.com/products/bipedestador-prono-supino-standz-2-tallas/>
- [5] Ginny Paleg y Beth A Smith, «Systematic Review and Evidence-Based Clinical Recommendations for Dosing of Pediatric Supported Standing Programs», *Pediatr. Phys. Ther.*, vol. 25, n.º 3, pp. 232-247, sep. 2013, doi: 10.1097/PEP.0b013e318299d5e7.
- [6] «Bipedestador para Niños Discapacidad Motora», Dortomedical. [En línea]. Disponible en: <https://dortomedical.com/products/3882-bipedestador-pediatrico-para-rehabilitacion-y-uso-diario>
- [7] Igor Caro, Lourdes Macías, Mercedes Martínez, Isabel Martínez, Kattalin Sarasola, y Tino Silvestre, «GUÍA BIPEDESTADORES. SEPIF-SERI».
- [8] P. D. Faghri, J. P. Yount, W. J. Pesce, S. Seetharama, y J. J. Votto, «Circulatory hypokinesia and functional electric stimulation during standing in persons with spinal cord

injury», *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 82, n.º 11, pp. 1587-1595, nov. 2001, doi: 10.1053/apmr.2001.25984.

[9] Christian Gunge Riberholt y Jesper Mehlsen, «Patients with severe acquired brain injury show increased arousal in tilt-table training», *Dan. Med. Bull.*, dic. 2013, [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/259393728_Patients_with_severe_acquired_brain_injury_show_increased_arousal_in_tilt-table_training

[10] Rehacademia, «Bipedestación fantástica, satisfactoria y que da bienestar: usando las palabras “F” para la prescripción de bipedestadores centrados en el niño – Rehacademia». [En línea]. Disponible en: <https://rehacademia.com/bipedestacion-fantastica-palabras-f/>

[11] unLTD Business, «Jenx marks 40 years of changing children’s lives», unLTD Business. [En línea]. Disponible en: <https://unltdbusiness.com/jenx-marks-40-years-of-changing-childrens-lives/>

[12] «Home Jenx», Jenx. [En línea]. Disponible en: <https://jenx.com/>

[13] B. Nordström, Lars Nyberg, Lilly Ekenberg, y Annika Näslund, «The psychosocial impact on standing devices», *The psychosocial impact on standing devices, Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, vol. 4:9, pp. 299-306, 2014.

[14] Dr José Felix Castillo, «Todo Sobre Bipedestadores.» [En línea]. Disponible en: <https://www.drjosefelix.com/blog/todo-sobre-bipedestadores/>

[15] Febrero 24 y 2023 por Scott Louis Simonson, «Cilindros Neumáticos ISO 15552», Tameson.es. [En línea]. Disponible en: <https://tameson.es/pages/iso-15552-cilindros-neumaticos>

[16] «ISO 15552 Double Acting Cylinder 50-200mm - Magnetic - Damping», Tameson.com. Accedido: 11 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://tameson.com/products/iso-15552-double-acting-cylinder-50-200mm-damping-p2ac8>

- [17] Fundación Faustino Orbegozo Eizaguirre, «Curvas y tablas de crecimiento (estudios longitudinal y transversal). Fundación Faustino Orbegozo Eizaguirre», Fundación Faustino Orbegozo Eizaguirre, 2009.
- [18] Administrador, «IMPORTANCIA DE LA BIPEDESTACIÓN EN LAS ENFERMEDADES NEUROLÓGICAS», ADEMTO. [En línea]. Disponible en: <https://www.ademto.org/ademto/importancia-de-la-bipedestacion-en-las-enfermedades-neurologicas/>
- [19] A. Madrigal Muñoz, «Familias ante la parálisis cerebral», *Psychosoc. Interv.*, vol. 16, n.º 1, pp. 55-68, 2007.
- [20] F. Leiva-Cepas, A. Montaña Martínez, y I. López-López, «Puesta al día en distrofia muscular de Duchenne», *Med. Fam. SEMERGEN*, vol. 47, n.º 7, pp. 472-481, oct. 2021, doi: 10.1016/j.semerg.2021.06.008.
- [21] «Nota de Prensa: Estimación del número de Defunciones Semanales (EDeS). Estimación Mensual de Nacimientos (EMN). Año 2024.», INE. Accedido: 15 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.ine.es/dyngs/Prensa/es/EDES_EMN2024.htm
- [22] Andersen, M. *et al.*, «Healthcare Professionals' Perspectives on the Use of Standing Frames for Children Diagnosed With Cerebral Palsy: An Explanatory Mixed Methods Study», *Child Care Health Dev.*, vol. 50, n.º 5, 2024, doi: 10.1111/cch.13320.
- [23] L. J. McLean, G. S. Paleg, y R. W. Livingstone, «Supported-standing interventions for children and young adults with non-ambulant cerebral palsy: A scoping review», *Dev. Med. Child Neurol.*, vol. 65, n.º 6, pp. 754-772, 2023, doi: 10.1111/dmcn.15435.
- [24] J. Goodwin *et al.*, «Understanding frames: A UK survey of parents and professionals regarding the use of standing frames for children with cerebral palsy», *Child*, vol. 44, n.º 2, pp. 195-202, mar. 2018, doi: 10.1111/cch.12505.
- [25] «About the Sustainable Development Goals – United Nations Sustainable Development». [En línea]. Disponible en:

<https://web.archive.org/web/20200723113336/https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

[26] Marzo 13 y 2023 por Scott Louis Simonson, «Cilindro Neumático de Simple Efecto vs Doble Efecto», Tameson.es. Accedido: 11 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://tameson.es/pages/cilindro-neumatico-simple-efecto-doble-efecto>

[27] Marzo 23 y 2023 por Anju Thangam Joy, «Guía de Mantenimiento de Cilindros Neumáticos», Tameson.es. Accedido: 11 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://tameson.es/pages/guia-mantenimiento-cilindros-neumaticos>

ANEXO I: ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Globales, son un conjunto de 17 objetivos interconectados adoptados por las Naciones Unidas en 2015 como parte de la Agenda 2030. Estos 17 objetivos abordan los grandes desafíos del mundo en que vivimos, como la pobreza, el hambre, la salud, el acceso al agua y energía, la innovación y reducción de las desigualdades entre otros. Bajo cada objetivo se han desarrollado metas e indicadores específicos para medir el progreso que comparten todos los países.

El propósito principal de los ODS es servir de plan universal para erradicar la pobreza, proteger el planeta y garantizar paz y prosperidad para el año 2030. A través de estos 17 objetivos y de sus respectivas metas se busca promover una responsabilidad compartida entre todos los países que se adhieren a la Agenda 2030 [25].

Este proyecto se alinea con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) promovidos por la Organización de las Naciones Unidas, especialmente aquellos objetivos relacionados con la salud, la igualdad y la innovación tecnológica.



Figura 57: ODS relacionados con el proyecto.

En primer lugar, se identifica con el **ODS 3: Salud y Bienestar**, puesto que el proyecto tiene como propósito principal mejorar la calidad de vida de los niños con discapacidad motora o

movilidad reducida. Además de tener un impacto directo en la salud física de los pacientes, mejora también su bienestar emocional, reforzando su autoestima y su participación en actividades sociales y educativas. Del mismo modo, promueve el bienestar de los cuidadores y familiares al facilitar la transferencia del niño al bipedestador. En segundo lugar, el proyecto se alinea con el **ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura**, puesto que introduce soluciones tecnológicas innovadoras que optimizan un dispositivo existente, como es el bipedestador *Standz*. En tercer lugar, el proyecto coincide con el **ODS 10: Reducción de las Desigualdades**. El proyecto contribuye a reducir las desigualdades entre personas no neurotípicas y su entorno. Gracias a los diseños elaborados en este proyecto, se facilita la vida de las personas con discapacidades motoras severas, haciendo que se adapten mejor a su entorno y que se sientan más cercanos a sus coetáneos. Por último, se podría identificar también, aunque de manera secundaria, con el **ODS 4: Educación de Calidad**. Pese a no ser un objetivo principal, una de las consecuencias de las mejoras que se van a diseñar en el bipedestador es que los niños tendrán una mayor facilidad para participar en actividades educativas y terapéuticas. La posibilidad de incorporar la mesa de apoyo adicional en la posición de cúbito prono puede ser clave para realizar tareas educativas o actividades creativas.

ANEXO II: ISO 15552 DOUBLE ACTING CYLINDER

50-200MM - MAGNETIC - DAMPING

El cilindro ISO 15552 Double Acting Cylinder 50-200mm - Magnetic - Damping (Figura 58) es un cilindro de doble efecto, lo que significa que el pistón contenido en su interior puede ser accionado en ambos sentidos mediante la presión de aire comprimido. Mientras que en los cilindros de simple efecto el movimiento de retorno depende de un resorte o de la propia carga, en los de doble efecto se puede controlar tanto el avance como el retroceso del vástago. Este es el caso del cilindro escogido, lo que le aporta una mayor versatilidad y eficiencia en aplicaciones industriales que requieren movimientos repetitivos y precisos [16], [26].



Figura 58: ISO 15552 Double Acting Cylinder 50-200mm – Magnetic - Damping.

Además, el pistón propuesto está fabricado bajo la norma ISO 15552 lo que garantiza la intercambiabilidad y compatibilidad con otros componentes neumáticos normalizados, facilitando su integración en sistemas existentes y asegurando la disponibilidad de repuestos y accesorios en el mercado global [15].

El principio de funcionamiento de un pistón de doble efecto se basa en la utilización de aire comprimido para desplazar el pistón en ambos sentidos dentro del cilindro. El cilindro dispone de dos cámaras, una a cada lado del pistón, conectadas a través de puertos de entrada y salida de aire. Cuando se suministra aire comprimido a una de las cámaras, el pistón se

desplaza hacia el lado opuesto y simultáneamente, el aire de la cámara contraria se libera al exterior a través del puerto correspondiente. Para invertir el movimiento, se invierte el flujo de aire. El resultado es un movimiento lineal alternativo, controlado y repetible, que puede ser adaptado a diversas necesidades industriales [26].



Figura 59: Funcionamiento pistón de doble efecto.

Teniendo en cuenta esto, la elección de un pistón de gas de doble efecto, como el ISO 15552 Double Acting Cylinder 50-200mm - Magnetic - Damping, es muy adecuada para la solución propuesta. En primer lugar, éste permite controlar de manera precisa y segura el movimiento tanto al subir como al bajar la estructura, lo que garantiza que el ajuste de altura sea suave y estable, dos aspectos fundamentales para la seguridad y comodidad del niño. En segundo lugar, las dimensiones del pistón proporcionan la fuerza necesaria para levantar el conjunto del bipedestador y al usuario sin requerir un esfuerzo físico considerable por parte del cuidador, mientras que el recorrido de 200 mm ofrece un rango de ajuste suficiente para adaptarse a diferentes situaciones y alturas. Por último, el cumplimiento de la norma ISO 15552 asegura la fiabilidad, durabilidad y facilidad de mantenimiento del componente.

Otro aspecto relevante es que el mantenimiento de este pistón de gas es relativamente sencillo. Se trata de un cilindro autolubricado lo que significa que, en condiciones normales de trabajo, no requiere la aplicación adicional de lubricantes para su funcionamiento. De todas maneras, es recomendable realizar inspecciones periódicas, cada seis o doce meses, para detectar posibles fugas de aire, verificar el estado del vástago y comprobar que no haya acumulación de suciedad o partículas que puedan afectar el rendimiento [16], [27]. Además,

es importante respetar sus condiciones de uso: se debe mantener la presión por debajo de los 10 bar y la temperatura de trabajo entre -20 °C y 80 °C. Hay que tener en cuenta también sus limitaciones de carga. El pistón propuesto tiene una fuerza de avance máxima de 1585 N y una fuerza de retroceso máxima de 1766 N.

Por último, el pistón tiene una vida útil estimada en 5000 – 10000 km bajo condiciones normales de uso. Cogiendo el valor intermedio, 7500 km, se ha calculado cuanto tiempo duraría la solución propuesta. Para ello, se ha supuesto que el usuario utilice el bipedestador de media dos veces todos los días y que la posición de reposo del dispositivo sea con el pistón extendido. Esto último implica que cada vez q se haga uso del bipedestador el pistón se moverá cuatro veces: desde la altura máxima hasta la mínima para subir al paciente, se elevará una vez subido hasta la altura máxima, una vez haya terminado la terapia se reducirá la altura para facilitar el descenso del paciente y después el dispositivo volverá a la posición de reposo. Teniendo en cuenta esto se obtiene:

$$\text{Movimiento recorrdio por el pistón} = 200\text{mm} \quad [1]$$

$$\text{Movimimientos diarios} = 4 \text{ movimiento} / \text{uso diario} * 2 \text{ uso diario} = 8 \text{ movimiento} / \text{día} \quad [2]$$

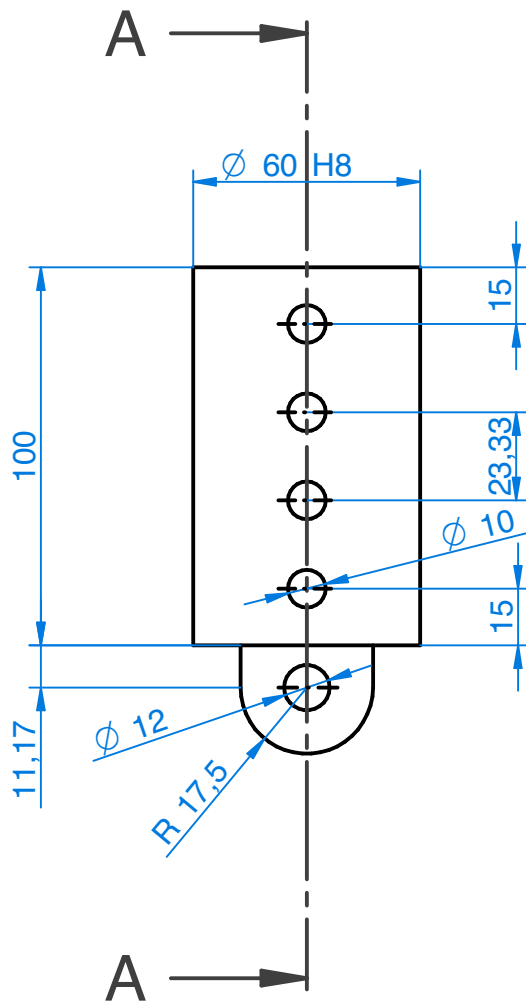
$$\text{Distancia diaria} = 8 * 200 * 10^{-6} = 0,0016 \text{ km} / \text{día} \quad [3]$$

$$\text{Duración pistón} = \frac{7500 \text{ km}}{0,0016 \text{ km} / \text{día}} = 4.687.500 \text{ días} \rightarrow 12.842,465 \text{ años} \quad [4]$$

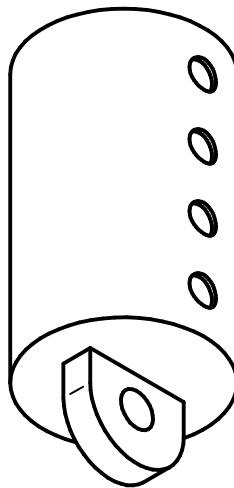
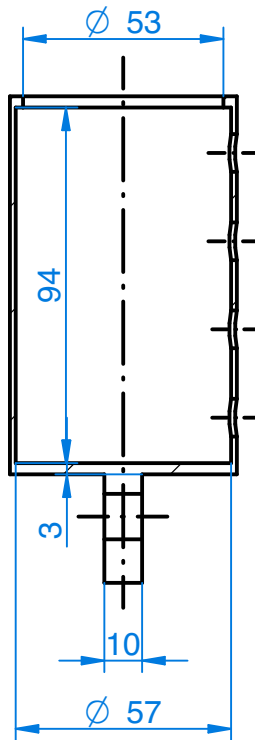
Con este valor, se puede concluir que no hará falta intercambiar el pistón mientras que el usuario utilice el dispositivo.

ANEXO III: PLANOS

A continuación, se muestran los planos de todas las piezas y conjuntos de piezas diseñadas.



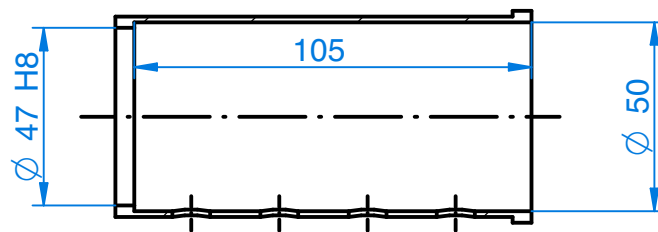
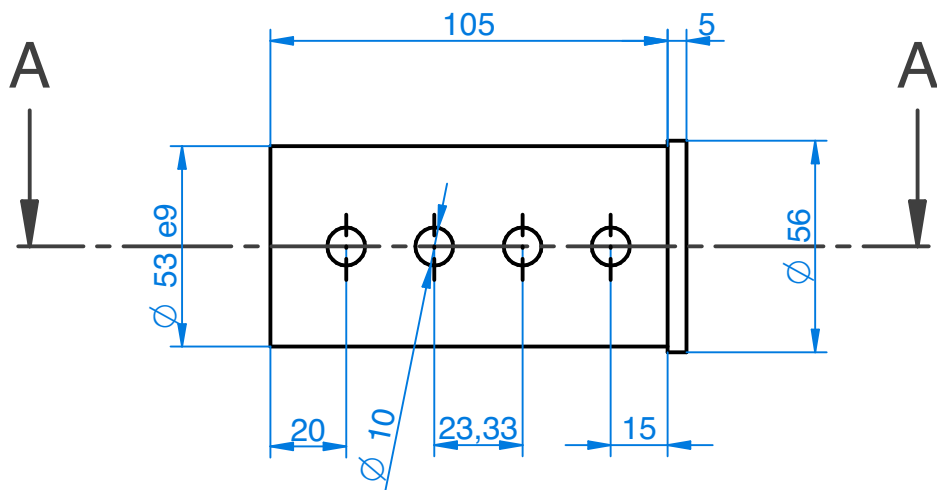
CORTE A-A



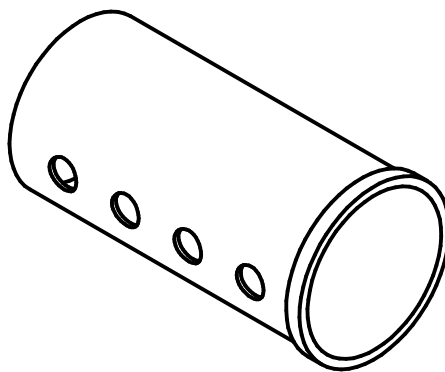
MATERIAL	Aluminio 6061-T	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	ISO 2768 - c,L	A4		Sistema de basculación: barra extensible
NOMBRE			FECHA	TÍTULO
DIBUJADO	Raquel López		11/06/25	Pieza 1
COMPROBADO	**Revisor**		11/06/25	
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO
1:2				RL_TFG_B1



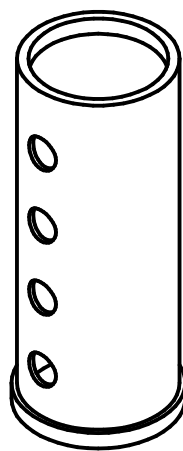
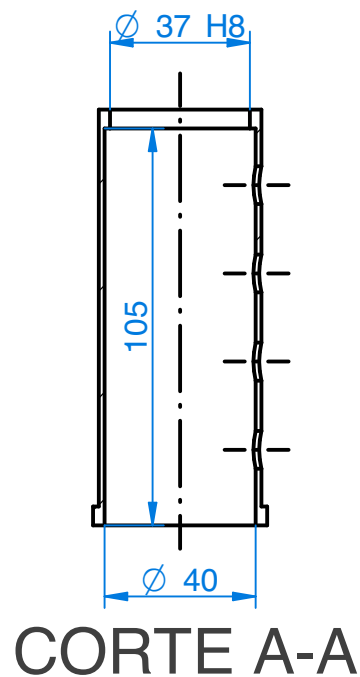
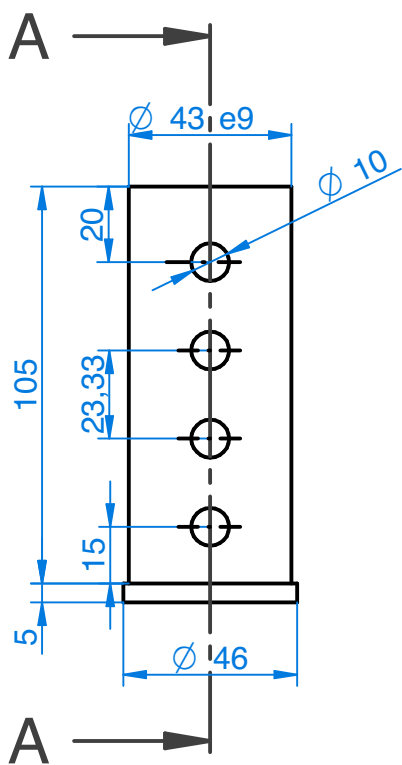
COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI



CORTE A-A



MATERIAL	Aluminio 6061 - T	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	ISO 2768 - c,L	A4		Conjunto basculación: barra extensible
	NOMBRE	FECHA		TÍTULO
DIBUJADO	Raquel López	11/06/25		Pieza 2
COMPROBADO	**Revisor**	11/06/25		
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO
1:2				RL_TFG_B2



MATERIAL	Aluminio 6061 - T	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	ISO 2768 - c,L	A4		Conjunto basculación: barra extensible
NOMBRE			FECHA	TÍTULO
DIBUJADO	Raquel López		11/06/25	Pieza 3
COMPROBADO	**Revisor**		11/06/25	
ESCALA:	FIRMA			
1:2				
				CÓDIGO
				RL_TFG_B3

1 2 3 4

A

A

B

B

C

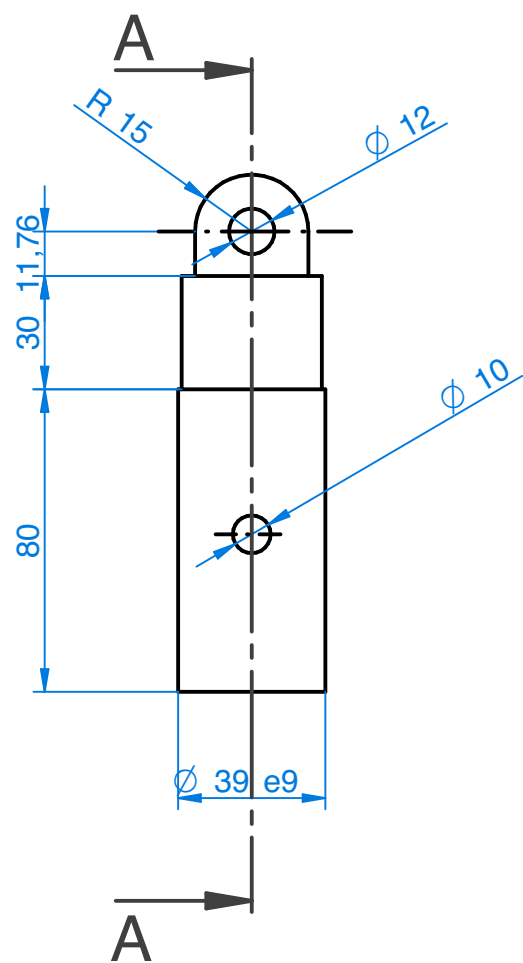
C

D

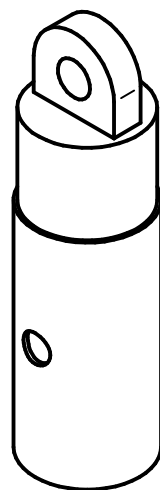
D

E

E



CORTE A-A



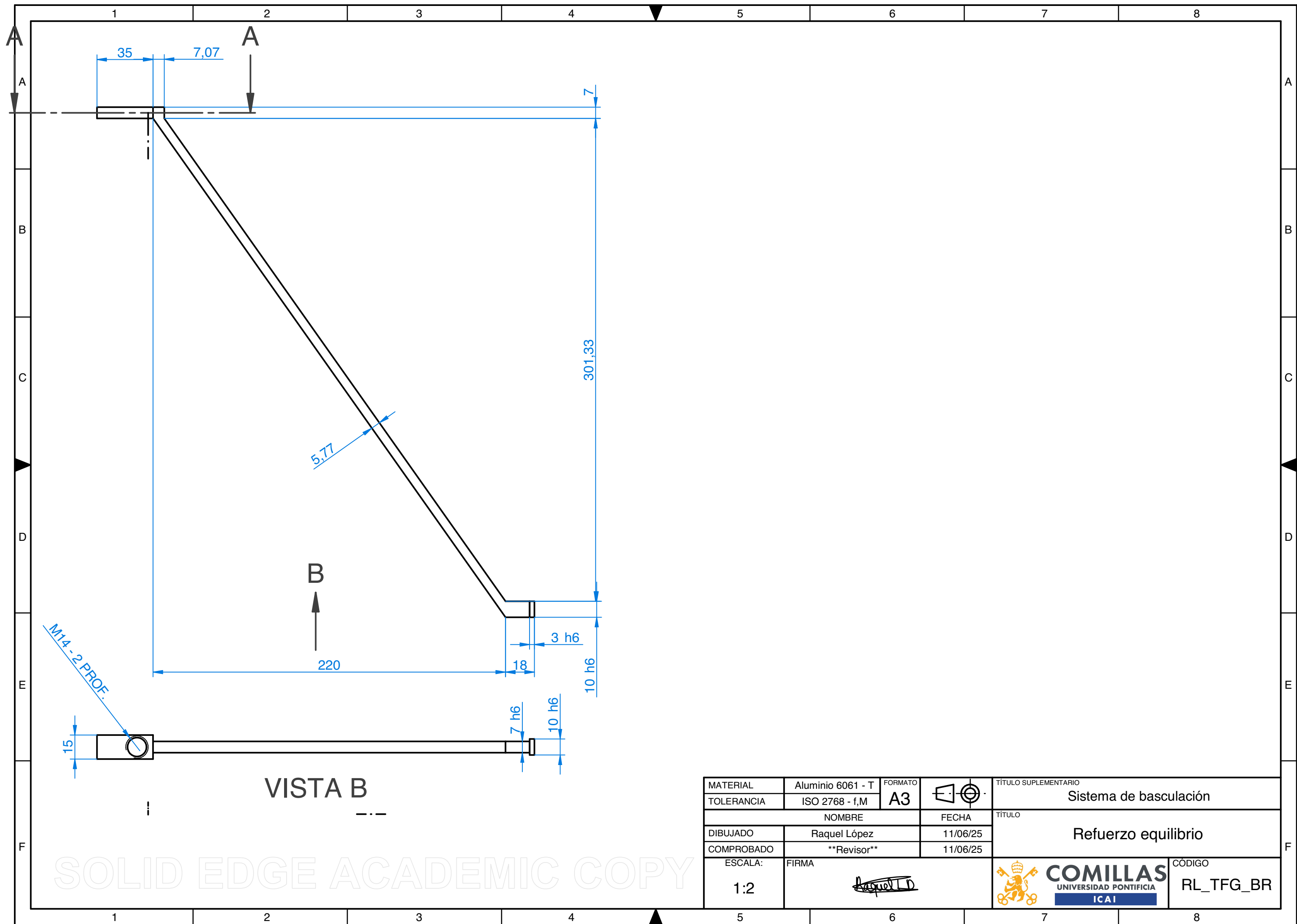
MATERIAL	Aluminio 6061 - T	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	ISO 2768 - c,L	A4		Conjunto basculación: Barra extendible
NOMBRE			FECHA	TÍTULO
DIBUJADO	Raquel López		11/06/25	Pieza 4
COMPROBADO	**Revisor**		11/06/25	
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO
1:2				RL_TFG_B4

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

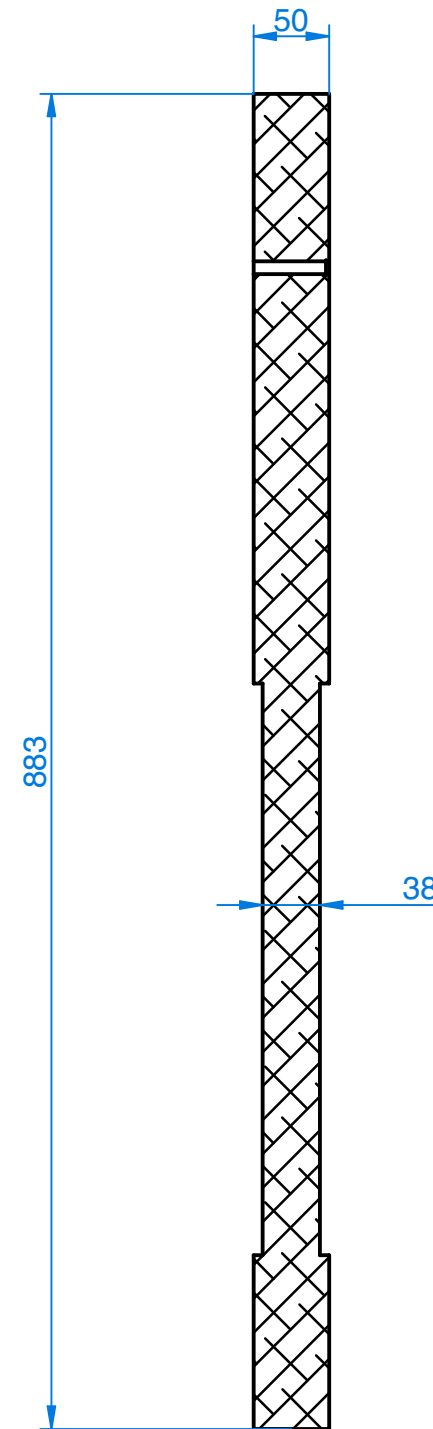
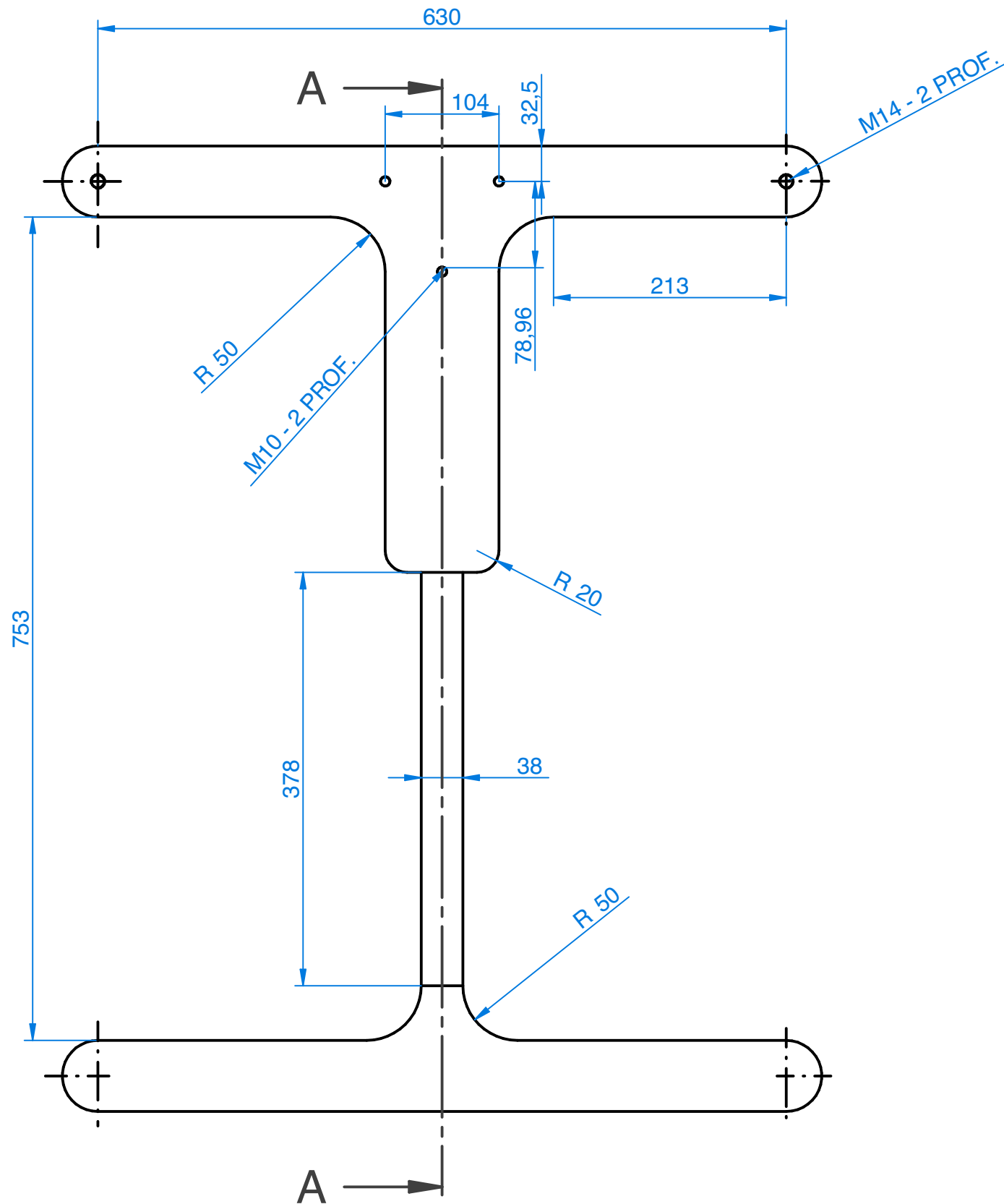


COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI

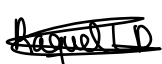
1 2 3 4



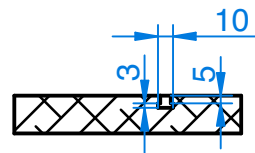
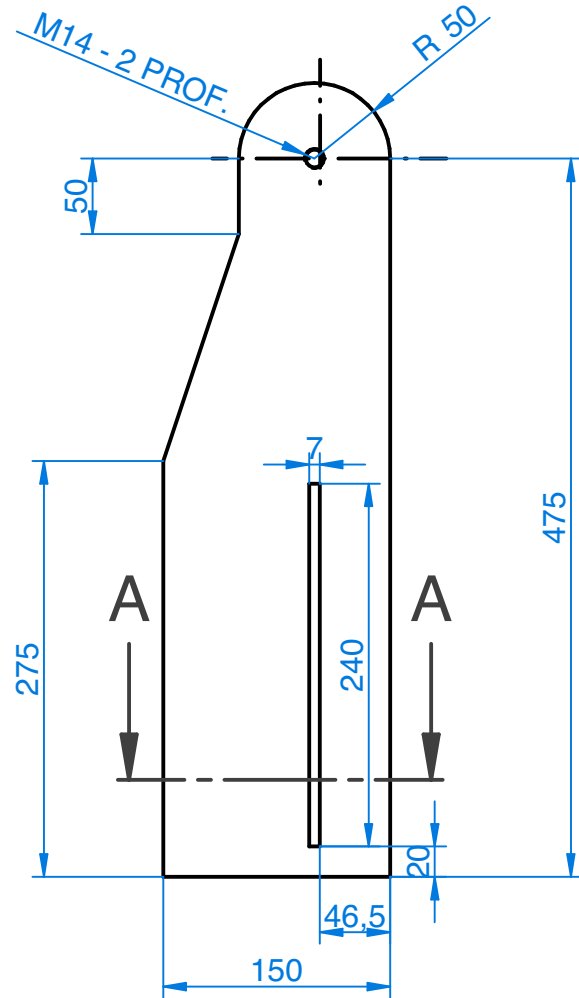
MATERIAL	Aluminio 6061 - T	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	ISO 2768 - f,M	A3		Sistema de basculación
NOMBRE			FECHA	TÍTULO
DIBUJADO	Raquel López		11/06/25	Refuerzo equilibrio
COMPROBADO	**Revisor**		11/06/25	
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO
1:2				RL_TFG_BR



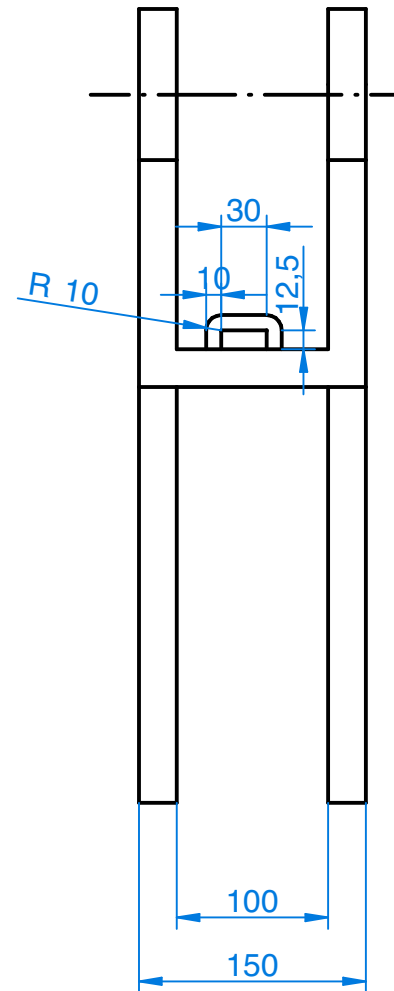
CORTE A-A

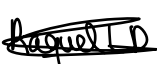
MATERIAL	Aluminio 6061 - T	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO	Sistema de basculación
TOLERANCIA	ISO 2768 - c,L	A3			
NOMBRE			FECHA	Base	
DIBUJADO	Raquel López	13/06/25			
COMPROBADO	**Revisor**	13/06/25			
ESCALA:	FIRMA				CÓDIGO
1:5					RL_TFG_BB

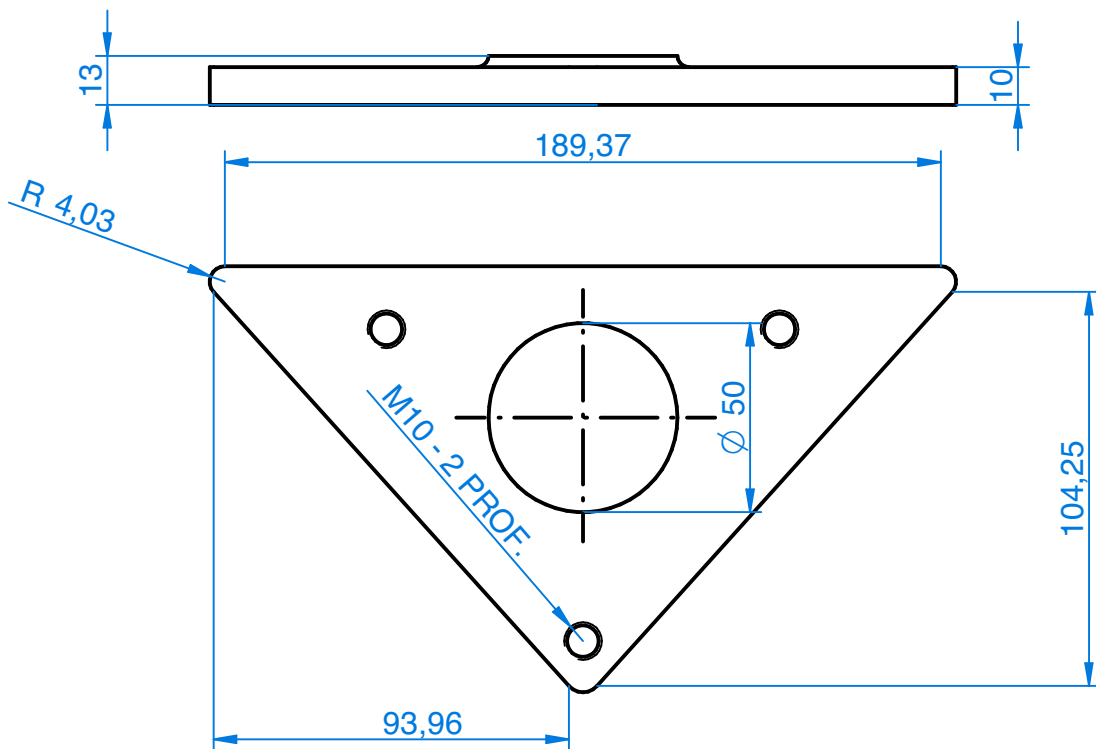
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

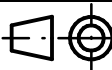


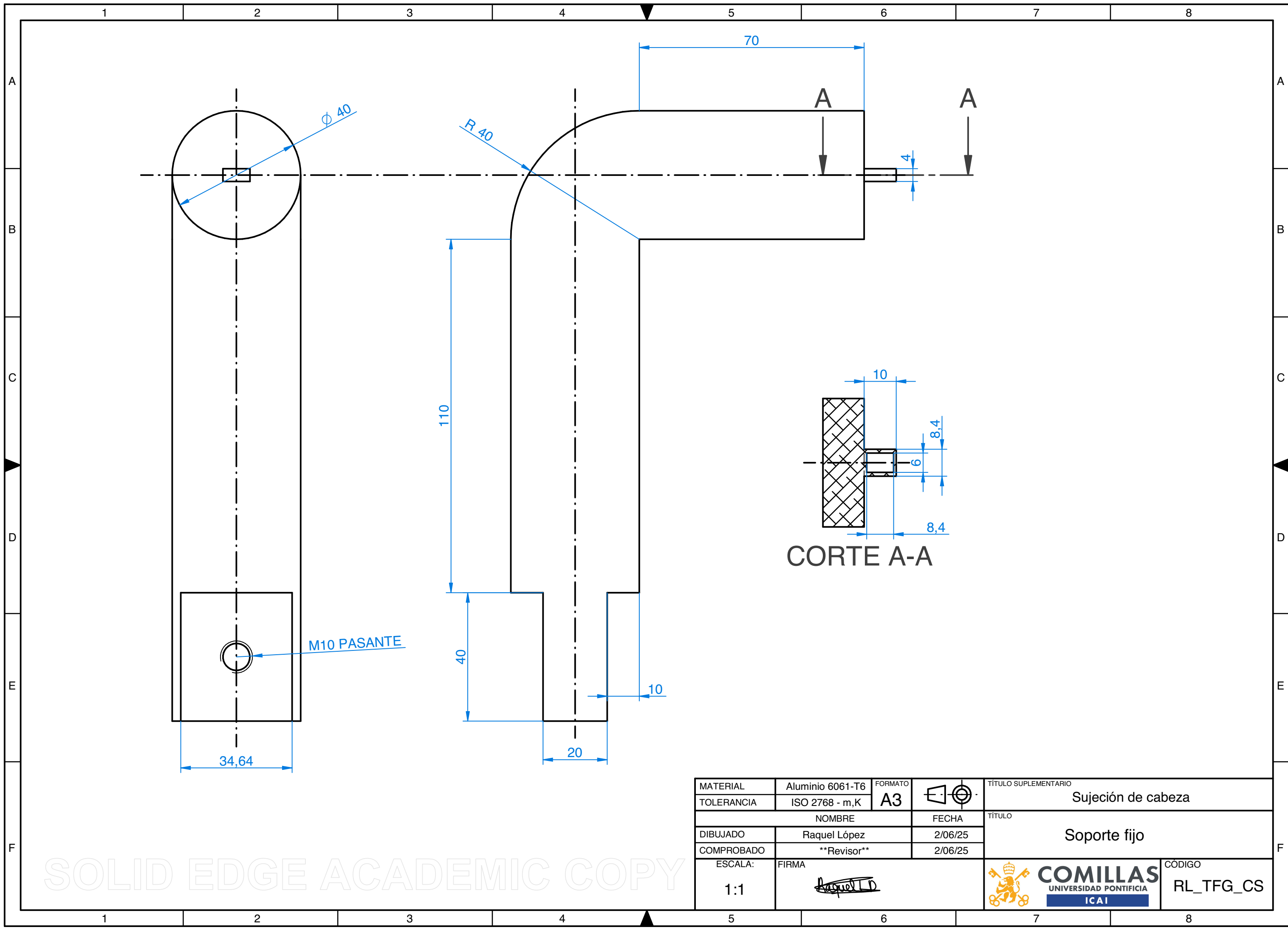
CORTE A-A



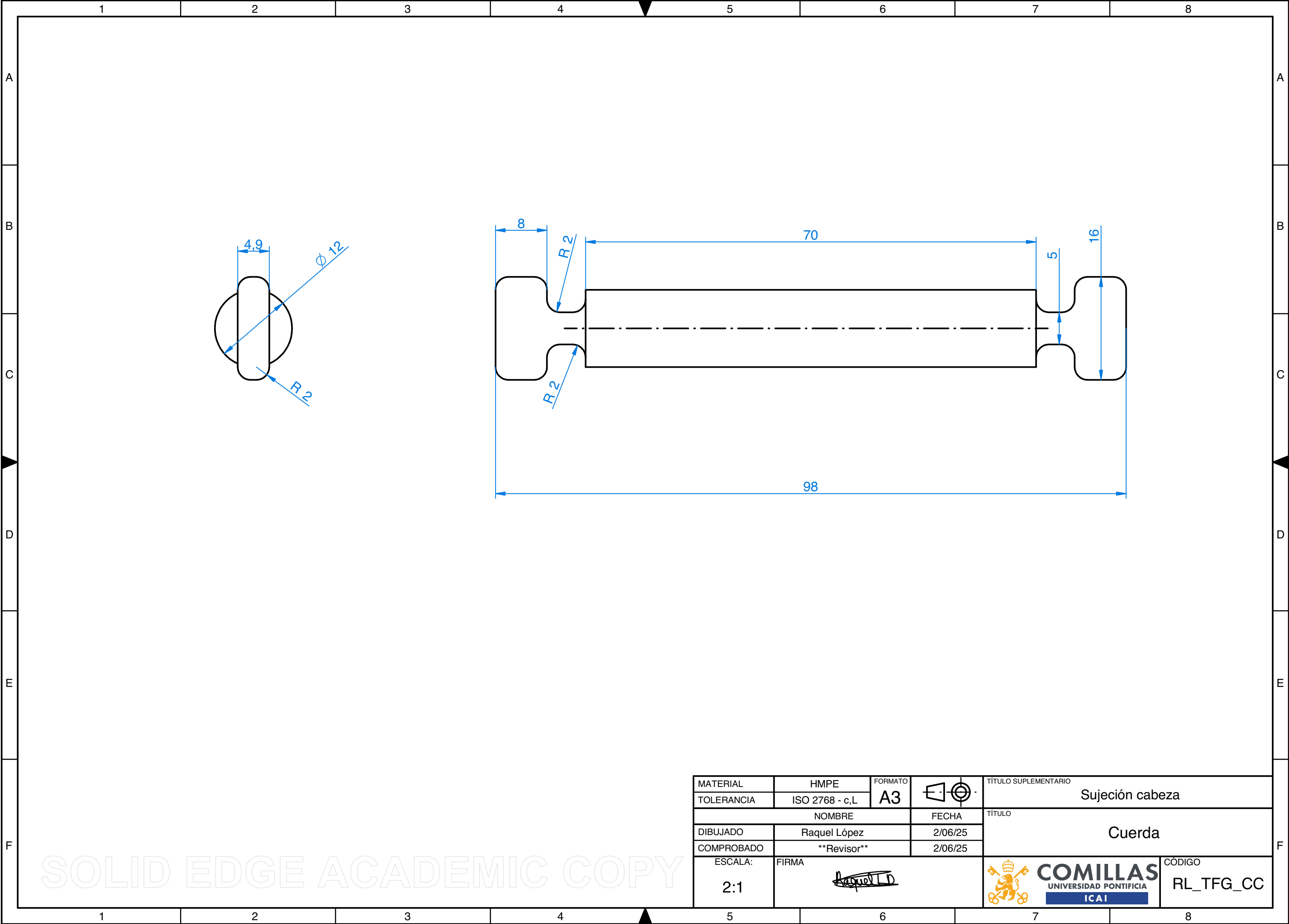
MATERIAL	Aluminio 6061 - T	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	ISO 2768 - m,K	A3		Sistema de basculación
NOMBRE			FECHA	Carcasa
DIBUJADO	Raquel López		13/06/25	
COMPROBADO	**Revisor**		13/06/25	
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO
1:5				RL_TFG_BC
				

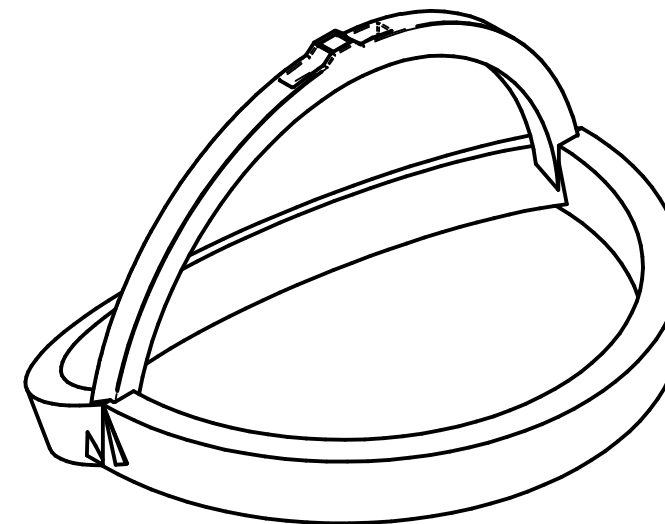
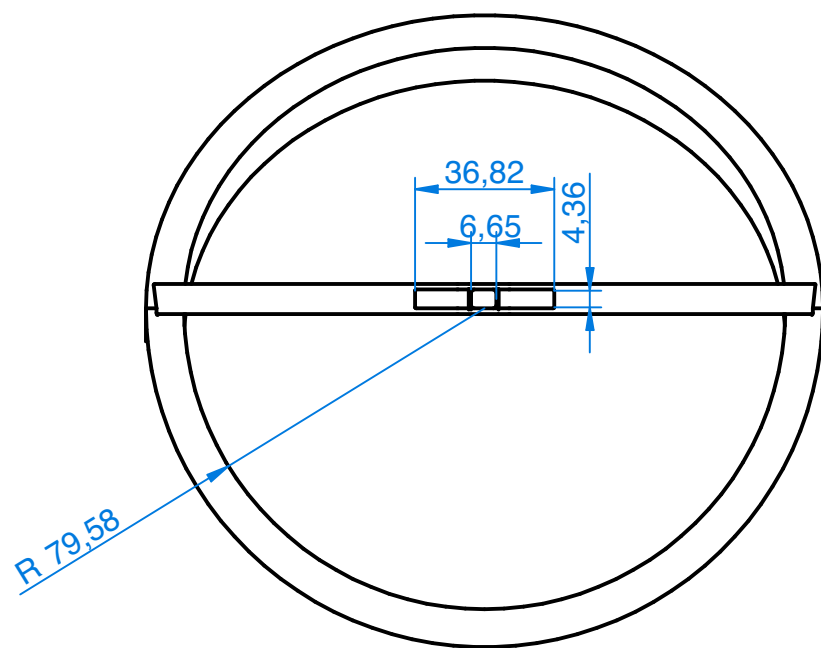
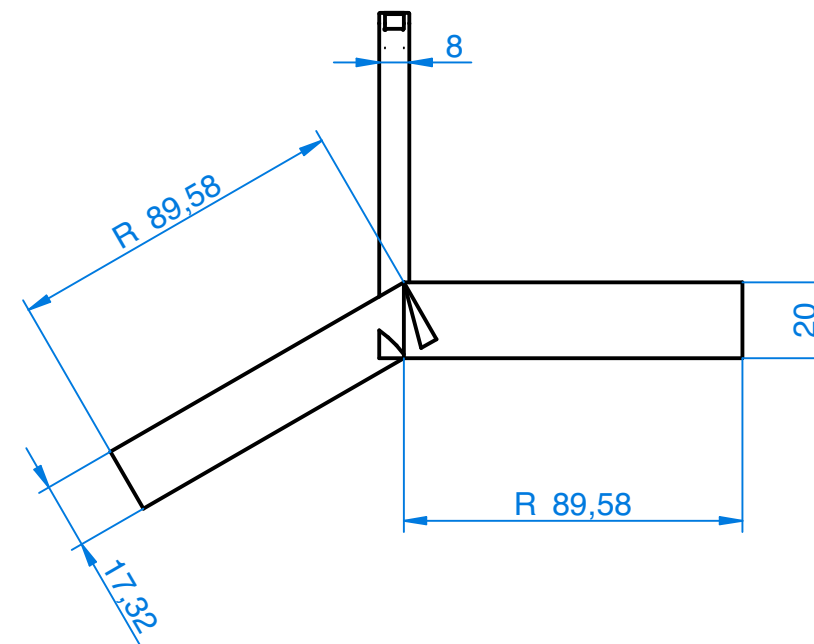
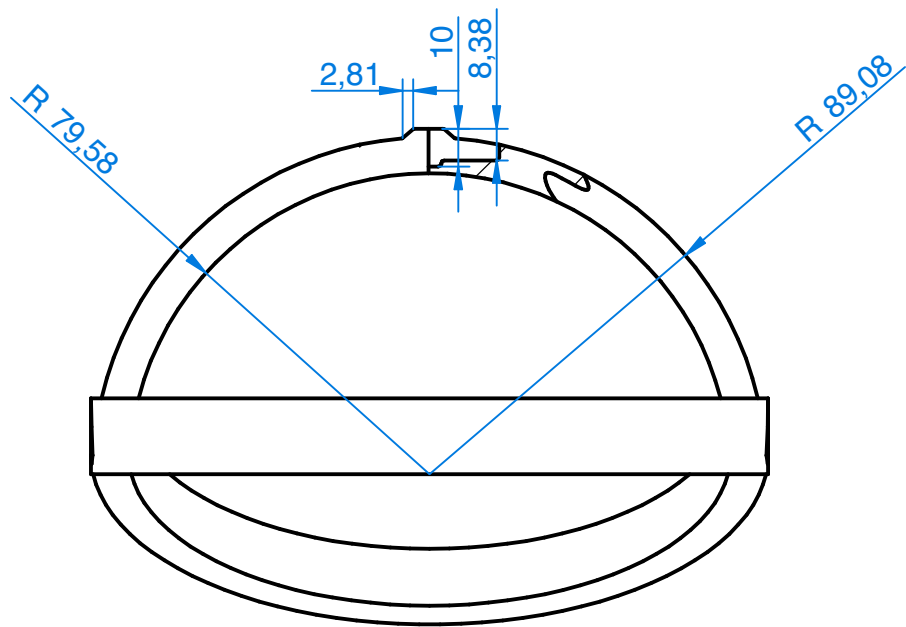


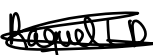
MATERIAL	Aluminio 6061 - T	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	ISO 2768 - m, K	A4		Sistema de basculación
NOMBRE			FECHA	TÍTULO
DIBUJADO	Raquel López		13/06/25	
COMPROBADO	**Revisor**		13/06/25	
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO
1:2				RL_TFG_BPB
				



MATERIAL	Aluminio 6061-T6	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO	Sujeción de cabeza
TOLERANCIA	ISO 2768 - m,K	A3			
NOMBRE			FECHA	TÍTULO Soporte fijo	
DIBUJADO	Raquel López		2/06/25		
COMPROBADO	**Revisor**		2/06/25		
ESCALA:	FIRMA				CÓDIGO
1:1					RL_TFG_CS





MATERIAL	Acero inoxidable	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	ISO 2768 - c,L	A3		Sujeción cabeza
NOMBRE			FECHA	Banda
DIBUJADO	Raquel López		2/06/25	
COMPROBADO	**Revisor**		2/06/25	
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO
1:2				RL_TFG_CB
				

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

12345678

A

A

B

B

C

C

D

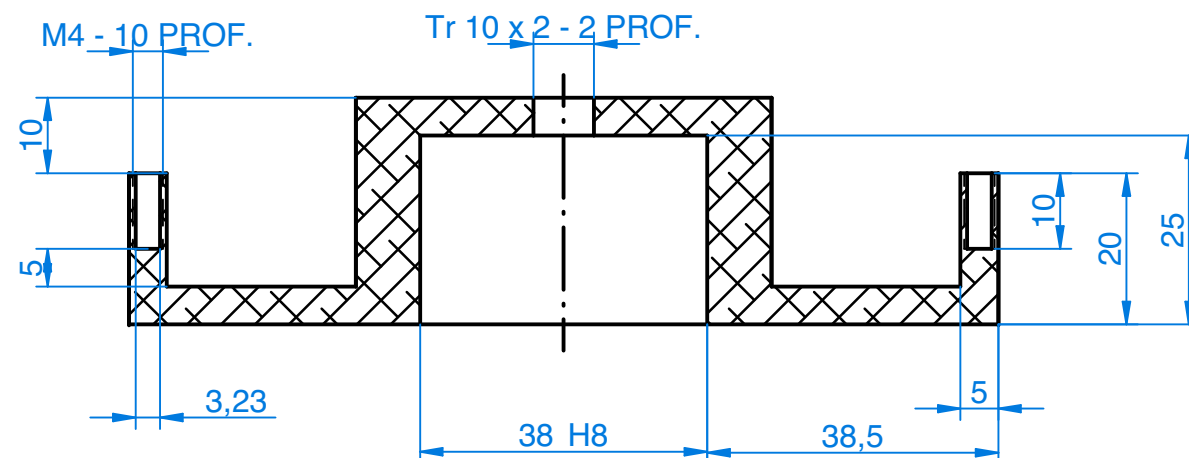
D

E

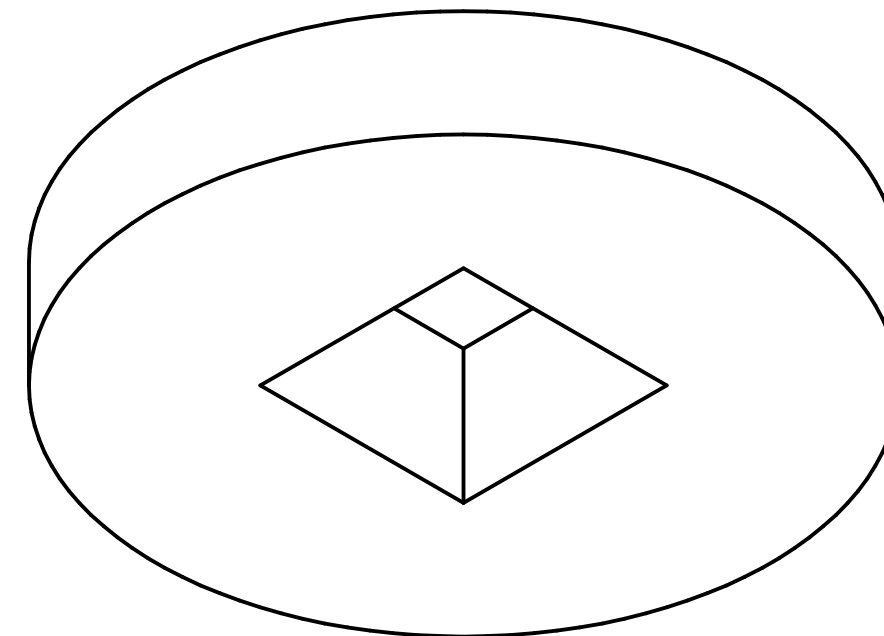
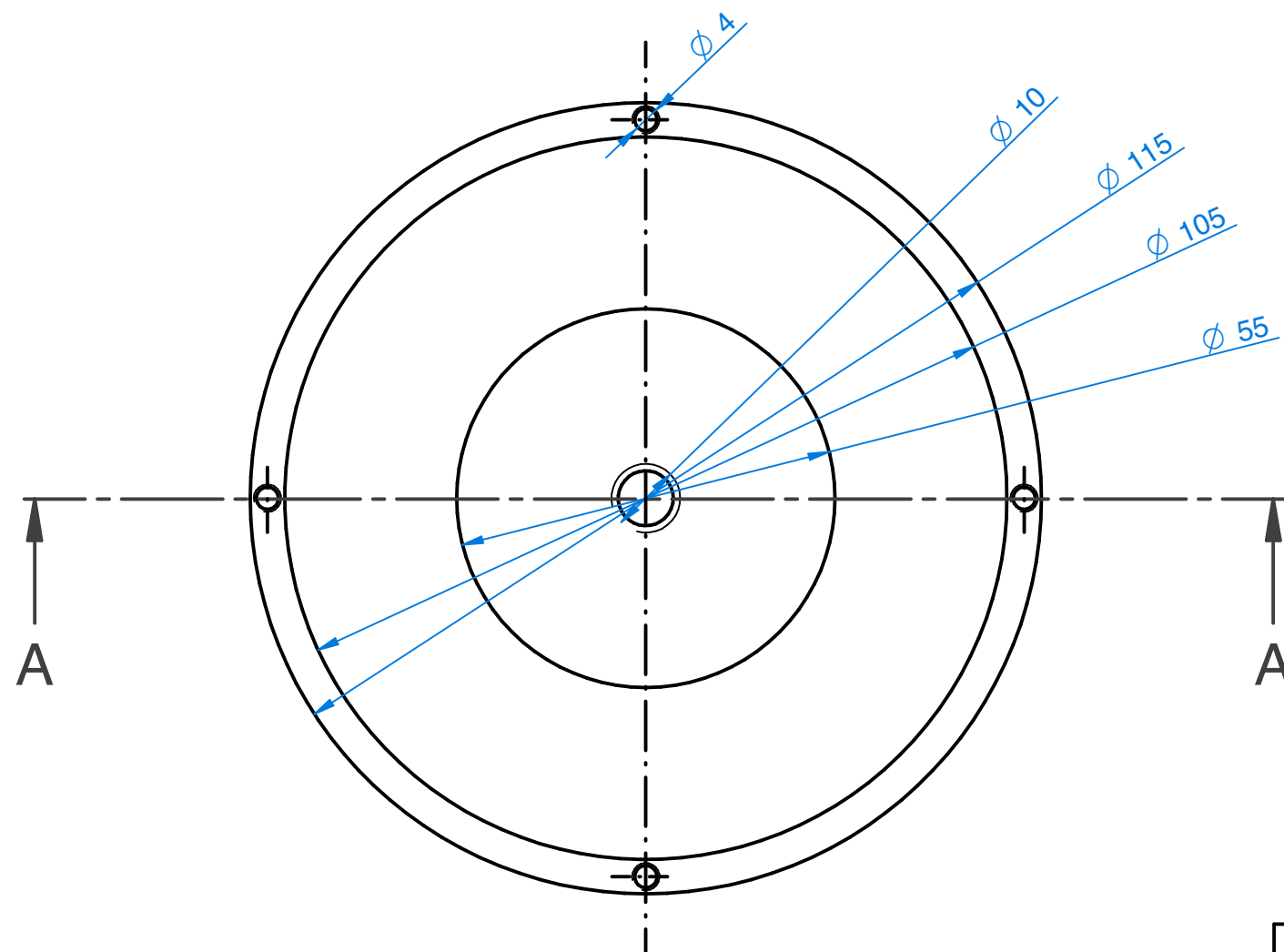
E

F

F



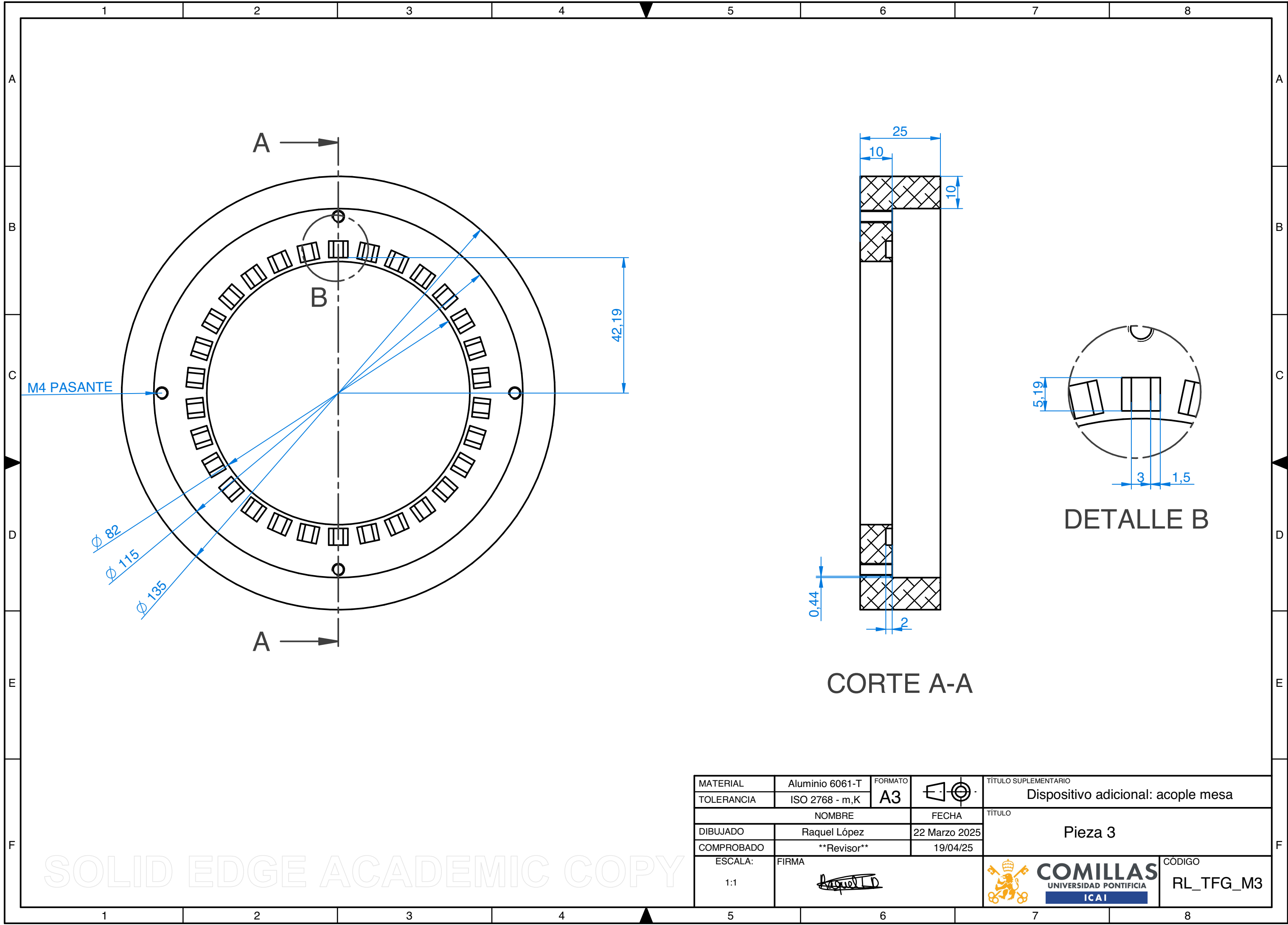
CORTE A-A



MATERIAL	Aluminio 6061-T	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	ISO 2768-c,L	A3		Dispositivo adicional: acople mesa
NOMBRE			FECHA	Pieza 1
DIBUJADO	Raquel López		22 Marzo 25	
COMPROBADO	**Revisor**		19/04/25	
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO
1:1				RL_TFG_M1
				

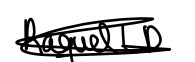
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

12345678



CORTE A-A

DETALLE B

MATERIAL	Aluminio 6061-T	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	ISO 2768 - m,K	A3		Dispositivo adicional: acople mesa
NOMBRE			FECHA	TÍTULO Pieza 3
DIBUJADO	Raquel López		22 Marzo 2025	
COMPROBADO	**Revisor**		19/04/25	
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO
1:1				RL_TFG_M3
				