



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DESARROLLO DE PRODUCTO

**DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UN
POSICIONADOR DE PIE-TOBILLO
PARA LA FABRICACIÓN DE
ÓRTESIS POR IMPRESIÓN 3D.**

Autor:

Gallego Sardiñas, Luis

Tutor:

Mansilla Gallo, Alberto

Área Ingeniería Mecánica

Dpto. CMeIM, EGI, IM, IPF

Valladolid, julio 2022.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



AGRADECIMIENTOS

Agradezco este TFG a Alberto por la oportunidad, a Edu por su ayuda y a los compañeros del edificio LUCIA: Lucía, Mario, Dani, Pablo, Víctor, Marina, Álvaro, y Javi

A mis padres y hermanas por seguir de cerca el proceso y ayudarme a llegar hasta aquí.

A los Panyakas por ser el mejor grupo que existe y de las personas más importantes para mí.

A los Bernis y los Xusticas por haberme acompañado durante esta etapa y haberme hecho disfrutar de ella

A Atropos por ser una fiel compañera y bellísima persona

Y a Lyli por sus ánimos, consejos y ser como es



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



RESUMEN

Este proyecto se basa en unir todos los conocimientos adquiridos para aplicarlos en un proyecto de innovación en el ámbito de la ortopedia, donde a través del diseño se consigan mejorar las condiciones y las facilidades del estudio de limitaciones y deformaciones existentes en pacientes con parálisis cerebral u otras patologías que afecten a la posición y postura del pie. Para, una vez realizado el estudio y escáner del paciente, poder construir el aparato determinado, a través de la impresión en 3D, para mejorar la movilidad y la vida en general de personas con semejantes discapacidades. De tal manera que se sustituya procesos de ortopedia anticuados y rudimentarios por estas nuevas tecnologías.

PALABRAS CLAVE

Órtesis, discapacidad motriz, impresión 3D, prototipado, pie-tobillo

ABSTRACT

This project is based on uniting all the knowledge acquired to apply it to an innovation project in the field of orthopedics, where design can be used to improve the conditions and facilities for the study of existing limitations and deformities in patients with cerebral palsy or other pathologies that affect the position and posture of the foot. Once the study and scanning of the patient has been carried out, it will be possible to build a specific device, through 3D printing, to improve the mobility and life in general of people with such disabilities. In such a way that outdated and rudimentary orthopedic processes are replaced by these new technologies.

KEY WORDS

Orthopedics, 3D printing, enhancement, orthotics, motor disability



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Índice de Contenido

Introducción y Objetivos	1
Introducción.....	1
Objetivos Iniciales.....	2
Justificación y Alcance del Proyecto.....	3
Estructura del Proyecto.....	4
Estado de la Técnica	7
Análisis de Usuarios y Pacientes.....	7
Grados de Libertad en Tobillo y Pierna.....	7
Medidas Antropométricas de Referencia.....	12
Productos Existentes.....	17
Soluciones Existentes.....	18
Solución de Referencia.....	19
Normativa de Referencia.....	20
ISO 273-1979.....	21
UNE-EN-ISO-2203.....	22
Diseño	23
Mejoras Iniciales.....	23
Listado de Mejoras.....	23
Diseño 2.0.....	28
Ejes Propuestos.....	28
Especificaciones del Diseño.....	29
Diseño Conceptual.....	33
Diseño Formal.....	43
Evaluación de la Solución.....	49
Retroalimentación y Mejoras.....	51
Rediseños.....	54
Reducción de Altura.....	54
Sujeción Muslo y Pantorrilla.....	56
Desplazamiento Eje Y.....	57
Grados de Rotación.....	58
Plataforma Continua de Apoyo.....	59



Mejora de Sujeción	61
Diseño final	63
Especificaciones del Diseño	63
Comparación con Versiones Anteriores.....	65
Prototipo	67
Comprobaciones realizadas.....	67
Fabricación.....	68
Suministros Externos	68
Impresión 3D	71
Mecanizado	74
Montaje	74
Materiales y Propiedades.....	76
Prototipo Final.....	77
Prueba	81
Análisis	85
Presupuesto	85
Conclusiones.....	86
Repercusiones Sociales	87
Líneas Futuras del Diseño.....	87
Bibliografía	91
Anexos	95
Elementos normalizados.....	95
Tablas	98
Planos	109

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Articulaciones del pie	1
Ilustración 2: Órtesis posturales.....	1
Ilustración 3: Escáner 3D.....	2
Ilustración 4: Ejemplo de DAFO aplicado a niños.....	2
Ilustración 5: Metodología Six Sigma	3
Ilustración 6: Prototipo final a mejorar	4
Ilustración 7: Articulaciones del pie	8
Ilustración 8: Tobillo y sus movimientos	8
Ilustración 9: Articulación astragalina.....	9



Ilustración 10: Antepié, Mediópié y retropié.....	11
Ilustración 11: Dorsiflexión- Plantar flexión.....	11
Ilustración 12: Eversión- Inversión.....	11
Ilustración 13: Abducción- Aducción.....	12
Ilustración 14: Mediciones maléolo externo e interno	13
Ilustración 15: Mediciones masculinas y femeninas.....	14
Ilustración 16: Mecanismo paralelo para rehabilitación de tobillo.....	18
Ilustración 17: Robot esférico paralelo de tres grados de libertad.....	18
Ilustración 18: Ensayo del prototipo en varón sano de 23 años.....	19
Ilustración 19: Norma 273:1979.....	21
Ilustración 20: Representación normalizada de engranajes helicoidales.....	22
Ilustración 21: Velcros en el conjunto	24
Ilustración 22: Perfil transversal	24
Ilustración 23: Solución provisional.....	25
Ilustración 24: Tornillos en la base.....	25
Ilustración 25: Mango en el eje rotacional	25
Ilustración 26: Pieza de rotación.....	26
Ilustración 27: Palanca en sentido contrario	26
Ilustración 28: Tornillos avellanados y pasantes con tuerca	27
Ilustración 29: Regulación eje vertical y prototipo final mejorado.....	27
Ilustración 30: Ejes del producto a diseñar.....	28
Ilustración 31: Primera sujeción de pantorrilla	29
Ilustración 32: Centro de rotación de producto referencia	30
Ilustración 33: Engranajes Rotación Y.....	31
Ilustración 34: Plataforma continua producto de referencia	32
Ilustración 35: Metodología por M.J. French	33
Ilustración 36: Solución a regulación en eje Z de la sujeción	34
Ilustración 37: Tornillería canal 10 mm.....	34
Ilustración 38: Idea 1 Regulación eje Y Producto (Detalle).....	35
Ilustración 39: Idea 2 regulación producto eje Y	36
Ilustración 40: Tornillo ajustable cama de impresoras 3D.....	37
Ilustración 41: Plataformas elevadoras de laboratorio simple y doble	38
Ilustración 42: Sujeción de pantorrilla.....	38
Ilustración 43: Idea Rotación eje Y Antepié.....	39
Ilustración 44: Desarrollo del diseño conceptual.....	40
Ilustración 45: Diseño conceptual del producto	41
Ilustración 46: Primera parte diseño conceptual	42
Ilustración 47: Rotaciones Eje X, Y	42
Ilustración 48: Rotación Eje Z (Conjuntos de rueda helicoidal)	43
Ilustración 49: Interfaz de diseño de ruedas helicoidales.....	45
Ilustración 50: Transmisión Rotación eje X.....	46
Ilustración 51: Diseño formal rotación eje Y Antepié.....	47
Ilustración 52: Vista de conjunto de componentes del producto y estructura.....	48
Ilustración 53: Vista de conjunto de componentes del producto e interior	48
Ilustración 54: Diseño Formal del producto	49
Ilustración 55: Altura producto referencia.....	52
Ilustración 56: Ejemplo empuñadura graduable.....	53
Ilustración 57: Altura de Diseño Formal	55
Ilustración 58: Altura de Rediseño.....	55
Ilustración 59: Sujeción pantorrilla-muslo.....	56
Ilustración 60: Rediseño Regulación Eje Y.....	57



Ilustración 61: Despiece Estructura Primer Rediseño	58
Ilustración 62: Ángulo Rotación Eje X Rediseño	59
Ilustración 63: Ángulo Rotación Eje Y Rediseño	59
Ilustración 64: Rediseño Regulación Eje Y Antepié	60
Ilustración 65: Vista isométrica producto rediseñado	60
Ilustración 66: Vista explosionada producto rediseñado	60
Ilustración 67: Vista isométrica de la estructura rediseñada	61
Ilustración 68: Empuñadura graduable diseñada	62
Ilustración 69: Estructura final requerida	63
Ilustración 70: Especificaciones del Diseño	65
Ilustración 71: Comparativa Producto Diseño Final	66
Ilustración 72: Prueba de engrane	67
Ilustración 73: Prueba de distancia entre centros eje Y	67
Ilustración 74: Piezas normalizadas NORELEM	69
Ilustración 75: Piezas Normalizadas FASTEN	69
Ilustración 76: Despiece elementos NORELEM	69
Ilustración 77: Plataforma elevadora	70
Ilustración 78: Interfaz Ultimaker Cura 4.12.0	72
Ilustración 79: Impresión en Creality CR-10	72
Ilustración 80: Rueda Helicoidal eje Y Impresa	73
Ilustración 81: Rectificación de medidas	74
Ilustración 82: Estructura montada	75
Ilustración 83: Montaje del producto	76
Ilustración 84: Pegado plataforma elevadora	76
Ilustración 85: Bobina PLA	77
Ilustración 86: Prototipo de diseño final	78
Ilustración 87: Señalizaciones	78
Ilustración 88: Movimientos implementados	79
Ilustración 89: Altura de producto	80
Ilustración 90: Prueba de rotación de ángulos	81
Ilustración 91: Prueba realizada	82
Ilustración 92: Captura de rotaciones	83
Ilustración 93: Holgura eje Z	88
Ilustración 94: Comparativa de productos	90
Ilustración 95: Especificaciones elemento 2	95
Ilustración 96: Especificaciones tornillo sin fin Cd=31 mm	96
Ilustración 97: Conjunto de rueda helicoidal de distancia de ejes de 17 mm	97
Ilustración 99: Perfil 40x40	97
Ilustración 99: Pie base	98
Ilustración 100: Articulación graduable	98

Índice de Tablas

Tabla 1: Altura tobillo pie derecho e izquierdo de población infantil	13
Tabla 2: Diámetro de pantorrilla en población de 4 y 5 años	14
Tabla 3: Diámetro de pantorrilla en población entre 18 y 65 años	15
Tabla 4: Altura de la tibia de la población laboral española	15
Tabla 5: Longitud del pie de la población laboral española	16
Tabla 6: Longitud mínima de pie de población infantil	17



Tabla 7: Diámetro de agujeros de paso.....	21
Tabla 8: Ángulos de rotación del Diseño Formal.....	50
Tabla 9: Distancias de Desplazamientos Diseño Formal	51
Tabla 10: Ángulos de rotación Rediseño	58
Tabla 11: Presupuesto.....	85
Tabla 12: Especificaciones conjunto de rueda helicoidal elemento 2	95
Tabla 13: Especificaciones tornillo sin fin 22500-311020.....	96
Tabla 14: Especificaciones conjunto de rueda helicoidal elemento 23	96
Tabla 15: Despiece elementos Diseño Formal de Estructura y sujeción de pantorrilla	99
Tabla 16: Despiece elementos Diseño Formal de Rotación eje Z	99
Tabla 17: Despiece elementos Diseño Formal de Rotación eje X, eje Y	100
Tabla 18: Despiece elementos Diseño Formal de Desplazamiento eje Z, sujeción de pie y Rotación eje Y Antepié	100
Tabla 19: Despiece de Estructura del Primer Rediseño	100
Tabla 20: Despiece Producto Primer Rediseño.....	101
Tabla 21: Tabla de Despiece Final del Producto.....	104
Tabla 22: Tabla de elementos normalizados (NORELEM).....	106
Tabla 23: Tabla de elementos normalizados (FASTEN).....	107
Tabla 24: Parámetros generales de impresión 3D	107

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Cálculo de distancia entre centros.....	44
Ecuación 2: Cálculo del paso del engranaje.....	44
Ecuación 3: Cálculo de Anchura de rueda helicoidal.....	44
Ecuación 4: Cálculo de numero de dientes.....	44



Universidad de Valladolid



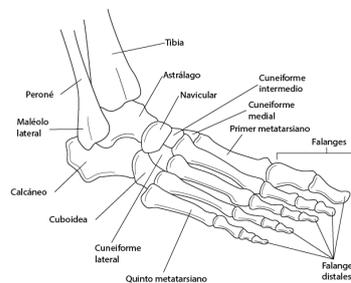
ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Introducción y Objetivos

Introducción

Este proyecto surge directamente de la necesidad del estudio de las deformaciones y otras patologías de pacientes en las ortopedias. Por lo cual, se realizará tanto un estudio de articulaciones y movimientos que desarrolla el pie humano, como se ve en la ilustración 1, así como un estudio de medidas antropométricas del mismo y comprobando con un experto ortopeda las soluciones y la viabilidad de la solución. Así, se obtendrá un producto acorde a las especificaciones del usuario, es decir el paciente, como se muestra un producto en la ilustración 2.

Ilustración 1: Articulaciones del pie



Nota: se muestran las articulaciones que se analizarán posteriormente. Obtenido por Manual MSD (Villa-Forte, 2020).

Ilustración 2: Órtesis posturales



Nota: se muestra una posible órtesis. Obtenida por Ortopedia Técnica López

Este proceso se basa en estudiar qué deformaciones o movimientos limitados existen, para con ello poder realizar correcciones sobre ellos a través de la impresión 3D y la ortopedia, eliminando procesos rudimentarios y anticuados como la escayola. Entonces el paciente se le fijará muslo y pantorrilla, para estudiar estas deficiencias existentes en el pie-tobillo y los ángulos en los movimientos existentes. Una vez realizado este estudio, se le escaneará el pie, reflejado en la ilustración 3, obteniendo un archivo en 3D con el que realizar el DAFO (Dynamic Ankle-Foot Orthosis), el cual mejorará el pie y su movilidad.

Ilustración 3: Escáner 3D



Nota: Los escáneres utilizados son similares a este, consiguiendo modelos 3D de la geometría de referencia. Imagen del escáner “EINSCAN PRO 2X PLUS - ESCÁNER 3D”, de la empresa Shining 3D.

Ilustración 4: Ejemplo de DAFO aplicado a niños



Nota: Estas ortesis dedicadas a la movilidad de pie y tobillo, se aplican de manera común en niños con defectos de movilidad y mejora del sistema locomotriz. Imagen obtenida por Ortosur en su catálogo de productos.

Por ello, este proyecto une innovación sobre nuevas tecnologías y materiales, nuevas necesidades de los usuarios, en este caso aplicado a la ortopedia. Tratando de aprovechar las debilidades y fortalezas de estos nuevos procesos como es la impresión 3D para solucionar problemas del futuro. También, parte de un proyecto previo base, sobre el que se va a trabajar y mejorar para solucionar los problemas que han aparecido, volviendo a hacer un estudio en profundidad de necesidades, mejoras y utilidades detectadas al usar el producto creado anteriormente. Por ello, se citará en numerosas ocasiones y se servirá como referencia el proyecto de David García Soler (García Soler, 2021).

Objetivos Iniciales

A continuación, se plantean unos objetivos generales del proyecto, con los que se considerará finalizado este trabajo, aunque se irán completando y concretando, desde unos objetivos genéricos hasta unas especificaciones detalladas que deberá tener el producto a desarrollar.

1. Utilizar en el diseño y aprender a aplicar nuevas tecnologías, como la impresión 3D
2. Estudiar posibles mejoras, compararlas y analizarlas, para obtener conclusiones de necesidades y mejoras necesarias tanto para los pacientes como los profesionales

3. Designar especificaciones del diseño a realizar
4. Realizar un diseño acorde a las necesidades y especificaciones
5. Ayudarse de empresas de suministros industriales para la obtención de piezas normalizadas o de precisión
6. Comparar, debatir y analizar las soluciones desarrolladas con compañeros y expertos de este ámbito, para obtener un diseño de mayor valor y desarrollo
7. Realizar un prototipo de producto, que pueda ser usado para la realización de los diversos estudios y realizar las pertinentes pruebas
8. Añadir con este diseño un valor añadido sobre el proyecto anterior, así como sobre otros proyectos
9. Analizar los costes de desarrollar este producto y en su caso comparar con otros productos existentes
10. Seguir una metodología de desarrollo del diseño de mejora constante y continua, depurando debilidades del producto y añadiendo facilidades en su uso

Con toda esta lista de objetivos, se plantea un camino a seguir y una forma de trabajar en el diseño semejante a metodologías estudiadas durante el grado y aplicables al mundo laboral, donde a través de ellas se obtienen resultados más precisos. Dentro de las metodologías de trabajo utilizadas de tipo producción Lean, se han aplicado de manera más visible metodologías como el Ciclo de Deming, donde siguiendo los pasos Plan, Do, Check, Act, entramos en una dinámica de trabajo de evolución y mejora constante para el diseño y desarrollo de proyecto, o la metodología Six Sigma, como se puede observar en la ilustración 5, donde a través de los 5 pasos que componen esta metodología, se consigue definir problemas que se convertirán en objetivos a través de la medición y el análisis, se mejorarán para ofrecer la mejor opción posible y se tratará de mantener la solución en el tiempo una vez creada.

Ilustración 5: Metodología Six Sigma



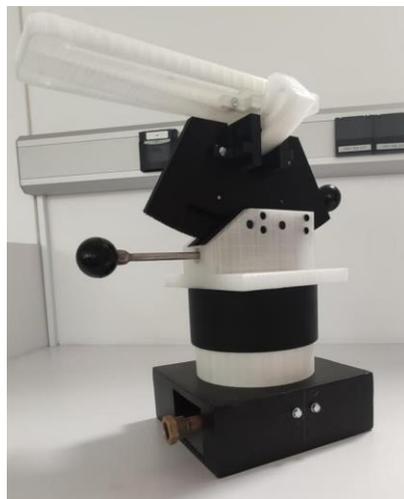
Nota: Se muestran los 5 pasos de la metodología de trabajo utilizada, (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). Imagen obtenida en los apuntes de la asignatura Oficina Técnica (2021), por Patricia Beatriz Zulueta Pérez (Zulueta Pérez, 2021-2022)

Justificación y Alcance del Proyecto

Este proyecto se justifica desde el punto de vista de la necesidad real de mejorar el prototipo anterior, ante diversas deficiencias o funciones no

incorporadas, se ha visto necesario realizar una nueva inversión en este proyecto para mejorar y depurar el producto, dando un valor añadido al diseño. Este es el factor fundamental del proyecto, utilizar tecnologías novedosas para solucionar problemas reales actuales, a través de las necesidades directamente expresadas por profesionales, y desarrollar un producto que llegue a dar un impacto real en este sector, la manera de trabajar y en el propio mercado. A continuación, en la ilustración 6, se puede ver la base del proyecto sobre la que se irá referenciando en numerosas ocasiones para justificar mejoras a realizar, deficiencias, cambios o funcionalidades necesarias a incluir en el nuevo diseño a efectuar.

Ilustración 6: Prototipo final a mejorar



Nota: se muestra el prototipo finalizado del proyecto anterior a mejorar, como ya se ha referenciado anteriormente (García Soler, 2021)

Estructura del Proyecto

Este proyecto está estructurado en esta introducción, donde se explican las generalidades y aspectos formales del proyecto. Posteriormente, se realizará un análisis tanto del producto a mejorar, como otras soluciones a tener en cuenta, así como análisis de los usuarios y demás aspectos a tener en cuenta, como normativa o antropometría útil para el desarrollo del proyecto.

Posteriormente se reproducirá el desarrollo que se ha seguido de trabajo, desde primeras mejoras, retroalimentación por parte de profesionales ortopedas, rediseños, obtención de materias primas, fabricación de piezas no normalizadas, ... Entre otros aspectos que han influido en el desarrollo total del trabajo. Hasta llegar al último prototipo y producto final mejorado, sobre el cual se realizarán conclusiones, análisis de mejoras, presupuesto, viabilidad de la solución, comparación de soluciones, planos, materiales, y otros puntos a tener



en cuenta en la definición completa y técnica del producto desarrollado. Con los anexos correspondientes, incluyendo líneas futuras del diseño y bibliografía.

Esta estructura, se podrá seguir en el índice y se irá explayando según corresponda a lo largo del proyecto, para explicar tanto el trabajo realizado como la definición del proyecto final. También se podrá seguir diversas referencias a través de los índices de ilustraciones, tablas y figuras, donde encontrar todas las diversas fotografías, tablas y ecuaciones, con su designación y donde encontrarlo.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Estado de la Técnica

Una vez realizada la introducción al trabajo que nos concierne, en este nuevo apartado se estudiará el estado de la técnica, un paso preliminar fundamental, como se ha visto y estudiado durante diversos trabajos durante la carrera, ya que, con este análisis se formará la base técnica del conocimiento en este campo, conociendo tanto posicionadores o soluciones similares, en las que tomar como referencia para desarrollar nuestro nuevo producto. Además de estudiar los usuarios para quienes estará destinado el producto, tomando como referencia estudios antropométricos y estudios fisiológicos, para la justificación de medidas y decisiones. Y, por último, la descripción de diversas normativas que han fundamentado otras decisiones, cálculos, medidas o demás aspectos técnicos en los que se fundamenta el desarrollo del proyecto.

Análisis de Usuarios y Pacientes

En este apartado se analizarán en profundidad varios aspectos relativos al estudio de la morfología del pie y pantorrilla humanos, parámetros que influirán en la manera de realizar el diseño y las medidas del mismo. Por ello, se dividirá en el estudio de grados de libertad, analizando articulaciones y movimientos del pie humano, y en medidas antropométricas, que serán usadas posteriormente, para realizar un diseño adaptable a los diferentes usuarios.

Grados de Libertad en Tobillo y Pierna

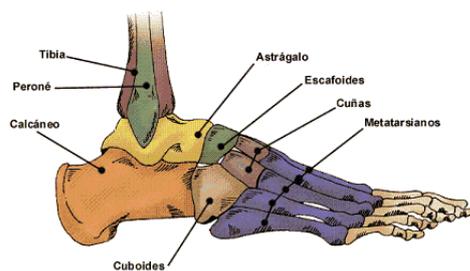
El pie tendrá unos diversos grados de libertad en el movimiento (GDL), los cuales dependen de los huesos móviles y articulaciones que existen en él, esto nos servirá como base, para determinar qué grados de libertad nos interesa fijar del pie humano, qué grados de libertad simplificamos, en el diseño y qué tipo de articulaciones se tratarán de fijar de la manera más correcta. Por ello, encontramos cinco articulaciones principales en el pie humano según se ha investigado en el proyecto para optar al título por Ana María Polanco Gutiérrez (Polanco Guitierrez, 2004) y según la revista “El pie en reumatología”, en el artículo “Anatomía funcional y biomecánica del tobillo y el pie” por A. Viladot Voegeli (Voegeli, 2003). La articulación del tobillo; la articulación astrágalocalcárea o astragalina; la articulación de Lisfranc; la articulación mediotarsiana (AMT) o articulación de Chopart y la articulación metatarsofalángica. También existen las articulaciones interfalángicas. Estas articulaciones serán analizadas para determinar qué grados de libertad totales tiene el pie, poder asegurarlos y fijarlos a través del diseño del producto. A continuación, se

detallan cada una de las articulaciones y conclusiones de estas, así como se detallan los movimientos que realiza el pie.

Articulación del Tobillo. La articulación del tobillo se encuentra entre los huesos de la tibia, el peroné y el astrágalo, como se muestra en la ilustración 7, el cual permite la rotación entre ellos. La tibia y el peroné conforman un agujero sobre el que se apoya la esfera del astrágalo y permite dicha rotación. Por tanto, esta articulación aporta un total de 3 huesos móviles y permite la rotación en los 3 ejes, como se ve en la ilustración 8, por ello se considera una articulación de movimiento. Estos movimientos son los de dorsiflexión - plantar flexión, inversión - eversión y abducción - aducción.

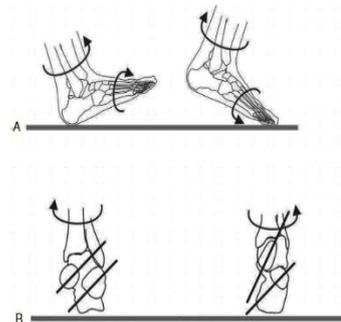
El centro de rotación del tobillo se encuentra en este hueso, el astrágalo. De manera que se permite, una dorsiflexión de unos 20° , y una flexión plantar de unos 50° , siendo menor la rotación en el eje en dirección del pie. Según se ha visto e investigado en referencias anteriores y en la página podo-ortesis de venta de calzado (Podo-ortesis S.L., s.f.) (Voegeli, 2003) (Polanco Guitierrez, 2004).

Ilustración 7: Articulaciones del pie



Nota: En esta imagen se muestran los huesos existentes en el pie, que se irán referenciando durante la explicación de todas las articulaciones. Imagen obtenida a través de podo-ortesis ya referenciada (Podo-ortesis S.L., s.f.)

Ilustración 8: Tobillo y sus movimientos



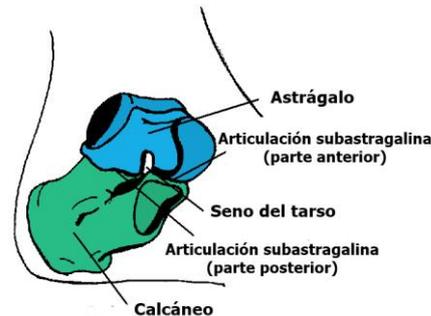
Nota: Aquí se pueden ver las diversas rotaciones posibles gracias al tobillo. Imagen procedente de la página 474 de la revista mencionada (Voegeli, 2003)

Articulación Astrágalo-Calcánea o Astragalina. La articulación astragalina está formada por la parte anterior del astrágalo, hueso que formaba la articulación del tobillo en su parte superior, con el hueso calcáneo, en su parte superior, estas se denominan antero interna y posteroexterna, como se muestra en la ilustración 9. Esta articulación se considera por lo tanto una articulación de acomodación.

Esta articulación permite la inversión de hasta 30° y eversión del pie de hasta 10° , este movimiento lo realiza solidariamente a la articulación de Chopart y el tobillo, la cual ayuda a obtener este grado de libertad. Esta será una de las

razones, para tener que aumentar un grado de libertad respecto al producto de referencia.

Ilustración 9: Articulación astragalina



Nota: Se muestran los componentes de la articulación astragalina, para intuir su movimiento de eversión-inversión, Imagen procedente del Tema 9: Anatomía del pie, de José Luis Huelva Leal (Huelva Leal, 2013).

Articulación Mediotarsiana o de Chopart (AMT). Esta articulación está formada por la unión entre los huesos astrágalo y escafoides y entre calcáneo y cuboides, como se ha visto en la ilustración 7, dicha articulación es una articulación de acomodación, por lo cual no aporta mayor movimiento al que se produce al mismo tiempo que con la articulación astragalina. Aportando mayor movimiento solidario al tobillo.

Articulación de Lisfranc. Esta articulación se encuentra entre los huesos metatarsianos y los huesos tarsianos, como se puede ver en la ilustración 7, esta articulación sirve de apoyo entre los huesos largos de los dedos y los huesos en el arco del pie, por ello se considera una articulación de acomodación. Donde en las articulaciones centrales se considera prácticamente rígida, y en sus laterales con movimiento muy limitado en comparación con otras articulaciones.

Articulación Metatarsofalángica. Esta unión se encuentra entre la base de las falanges y la cabeza de los metatarsos. Se considera una articulación de movimiento.

Articulaciones Interfalángicas. También son articulaciones de movimiento, que se encuentran entre las falanges de los dedos del pie, donde existe una única articulación en el dedo gordo y dos articulaciones en los demás dedos del pie. Por lo tanto, estas articulaciones serán de movimiento también, al poder rotar y permitir giros en estas uniones. De tal manera que, estas uniones permiten y posibilitan la formación de una garra, usual a la hora de mover los dedos del pie. Estas dos últimas articulaciones no se tendrán en cuenta a la hora de realizar los grados de libertad del producto, al fijar estas



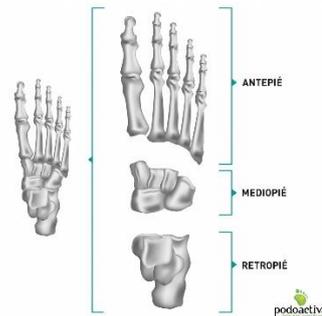
articulaciones, quedando fuera de este estudio. Por ello, se deberán fijar correctamente para no influir en el estudio a realizar.

Conclusiones. Una vez analizadas las articulaciones, uniones y grados de libertad permitidos por la fisiología humana, es momento de abstraer los grados de libertad relevantes y tomar conclusiones sobre el funcionamiento de esta parte del cuerpo. Por ello, se puede considerar como la unión de mayor movimiento la del tobillo, con ayuda de la astragalina y de Chopart, ya que son las que permiten un mayor movimiento y variación, a la vez que son las que soportan mayores cargas en su apoyo con el suelo.

De esta manera, a la hora de diseñar este producto, una vez queda fijada la pantorrilla, es decir el peroné y la tibia, supondremos la existencia de tres grados de libertad en la articulación del tobillo, debida a posibilidad de rotar en todos los ejes, con ayuda de la articulación astragalina, donde se planteará realizar a mayores una división del retropié y antepié. También existirán 2 grados de libertad por cada articulación metatarsofalángica e interfalángica, debido a poder rotar y mover estas articulaciones en dos ejes, con un movimiento de garra, por lo que se deberán fijar como ya se ha designado, para no influir en el estudio.

Se simplificará en 3 grados de libertad respecto al tobillo, que actuará como rótula, añadiendo un grado de libertad en la parte del antepié, como se muestra en la ilustración 10, con las partes y diferenciaciones del pie. Esto es debido a que el tobillo no funciona como una rótula perfecta, sino que se ayuda de articulaciones como la astragalina o de Chopart por lo que, tratando el tobillo como una rótula y analizando de manera independiente el antepié, podemos analizar los movimientos que nacen del tobillo de manera distinta al movimiento producido por las articulaciones auxiliares al mismo. Por tanto, el producto a diseñar contará con 3 grados de libertad principales, como el producto de referencia (García Soler, 2021), además de un grado de libertad para analizar una rotación diferenciada del tobillo. Obviamente, los demás grados de libertad, tanto de rodilla, muslo o falanges deberán ser fijados para no influir en el resultado de las rotaciones y con esto obtener una gran mejora respecto a productos posicionadores anteriores, al tratar al pie de manera más precisa a su fisionomía y no de una manera tan genérica, como anteriormente.

Ilustración 10: Antepié, Mediotipé y retropié



Nota: Se muestra el pie diferenciado en estas 3 partes, las cuales se tendrán en cuenta para desarrollar el diseño en base a ello. Imagen obtenida por el blog Podoactiva (Casal, 2020)

Movimientos Realizados con Dichas Articulaciones. Estos grados de libertad se traducen en movimientos que realiza el pie y que deberá realizar el producto, como se ha visto en referencias anteriores (Polanco Guitierrez, 2004) (García Soler, 2021). Los movimientos existentes y realizables por el pie humano son, según afirman otros autores:

Este eje le permite realizar al pie principalmente dos movimientos: flexión dorsal y flexión plantar, sin embargo, se están ignorando otros tipos de movimientos también realizados por el pie como inversión, eversión, aducción, abducción que son igualmente importantes y que en algunos casos se realizan entre superficies plantares diferentes a las del tobillo. (Polanco Gutiérrez, 2004, pág. 10)

Por ello, los movimientos a analizar por el producto serán movimientos de Dorsiflexión-plantar flexión, inversión - eversión, abducción - aducción e inversión - eversión en la parte del antepié, como se muestra en el video analizado (Sechrest, 2013). A través de las siguientes ilustraciones (11, 12 y 13) se puede ver en qué eje se realizan los movimientos y en qué sentido es cada uno de ellos. Teniendo coincidencia con los grados de libertad de las articulaciones analizadas.

Ilustración 11: Dorsiflexión- Plantar flexión

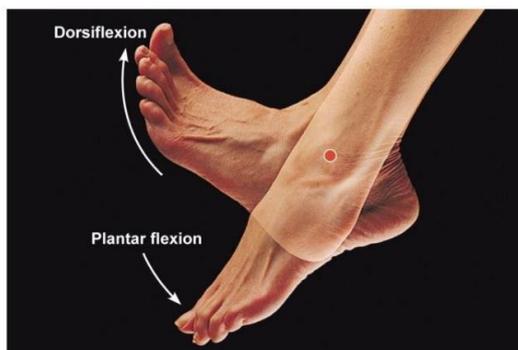
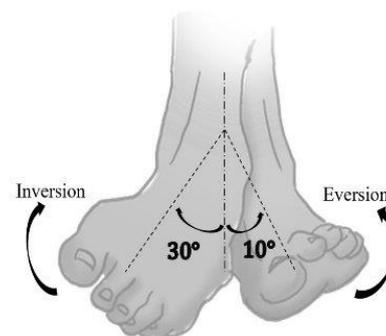


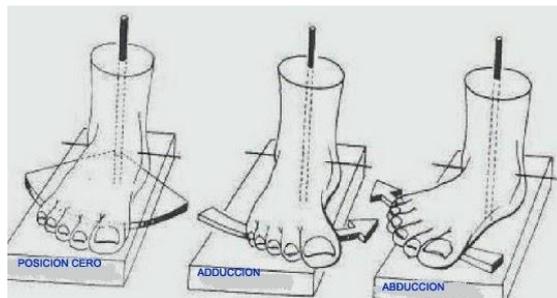
Ilustración 12: Eversión- Inversión



Nota: En la imagen se ve el movimiento descrito, rotación eje horizontal, perpendicular a la dirección de la marcha. Obtenido por Invictus Blog (McLaughlin, s.f.)

Nota: En la imagen se muestra el movimiento de rotación del eje horizontal paralelos a la dirección de la marcha. Obtenida por el documento de conferencia (Nguyen, Lane Gantz, Kannapiran, Chaudhuri, & Polygerinos, 2019)

Ilustración 13: Abducción- Aducción



Nota: Se muestra el movimiento de rotación respecto el eje vertical. Imagen procedente del blog Danzaliceo (Danzaliceo, 2015)

Con estos movimientos, podríamos analizar los límites de todos estos movimientos como estudios como “Development of a New Ankle Rehabilitation Robot” De Tongyang Sun (Sun, 2017, pág. 1479). Pero en este caso, al estar tratando con deformaciones y limitaciones importantes, en ningún momento se tratará de estudiar hasta el límite humano de rotación de los movimientos, siendo mucho menor salvo casos específicos. Por tanto, no cabe este análisis en el trabajo.

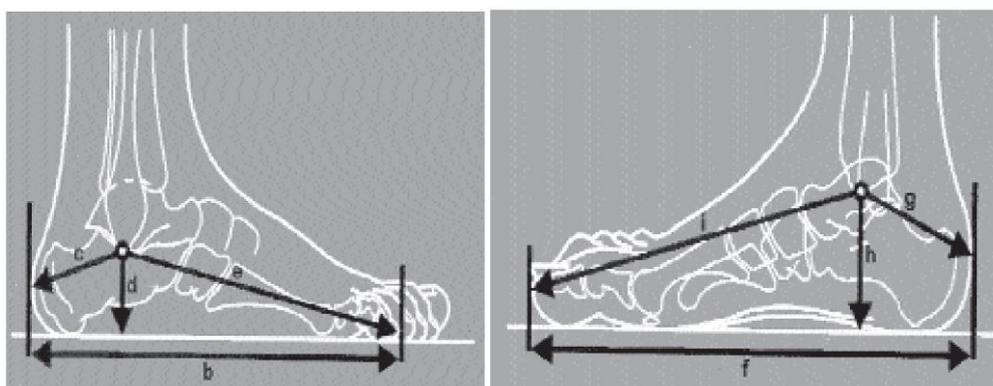
Medidas Antropométricas de Referencia

En este apartado, se mostrarán estudios que han servido de referencia para realizar el diseño, para designar medidas del propio diseño. En cada caso se designará las razones para diseñar respecto a cada estudio, así como las razones de tener que hacer el producto variable en algunas medidas para adaptarse a la mayoría de la población objetivo. Así podrá adaptarse en todo el producto a las proporciones del paciente y realizar el estudio de manera correcta y adecuada.

Altura Desde el Eje de Rotación a la Plataforma. Esta medida corresponderá a una medida variable entre el máximo y mínimo de la distancia maléolo externo e interno al suelo, como se muestra en la ilustración 14, de ambos pies derecho e izquierdo. El producto permitirá rotar en los 3 grados de libertad respecto a este maléolo, correspondiente al centro del tobillo, es decir que el producto debe tener una rótula que rote respecto del tobillo en esos 3 grados de libertad, para ello deberá regularse esta altura entre el mínimo y el

máximo de altura al tobillo de los pacientes, correspondiendo esta medida con la distancia entre el centro de giro del producto con la plataforma de apoyo. Tomando como referencia los siguientes artículos (Mediciones antropométricas. Estandarización de las técnicas de medición, actualizada según parámetros internacionales, 2003) (Mata, 2014).

Ilustración 14: Mediciones maléolo externo e interno



Nota: se muestra la medida “d” y “h” referente a la altura desde la plataforma al maléolo externo e interno respectivamente. Imagen obtenida por la gaceta médica de Bilbao (De los Mozos, Alfageme, & Ayerdi, 2002).

Por ello, para la designación de la medida mínima se ha estudiado mediciones mínimas de población infantil de la distancia entre el maléolo y el suelo, obteniendo la siguiente tabla 1.

Tabla 1: Altura tobillo pie derecho e izquierdo de población infantil

Pie	Media Global	Media 4,5-5 años	Media 5-5,5 años	Media 5,5-6 años
Derecho				
Distancia MI-Suelo	51,8	49,8	52,8	53,9
Distancia ME-Suelo	47,6	46,2	47,8	49,2
Izquierdo				
Distancia MI-Suelo	53,5	52,2	53,9	55,4
Distancia ME-Suelo	45,4	44,3	47,1	46,7
		43,4	45,5	44,8

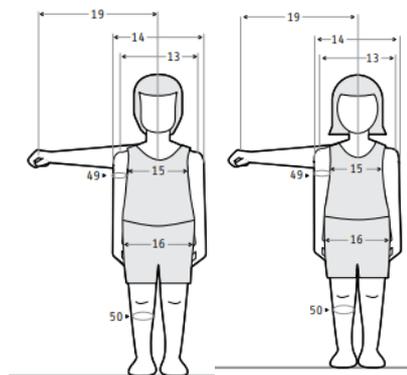
Nota: En la tabla anterior se muestran medidas de población infantil (género masculino en la parte superior y femenino en la inferior) española del pie derecho e izquierdo, referente a la altura mínima del diseño entre la plataforma y el centro de rotación. Obtenido por la Gaceta de Bilbao (De los Mozos, Alfageme, & Ayerdi, 2002).

Con este análisis, se puede observar una medida mínima de aproximadamente 45 mm, desde el centro de rotación a la plataforma de apoyo. Suponiendo una

altura máxima de 105mm. De esta manera, diseñaremos un producto capaz de regular la altura entre estas medidas.

Diámetro Máximo y Mínimo de Sujeción de Pantorrilla. Para realizar esta evaluación de las correas con las que fijar la pantorrilla de los pacientes, se han estudiado medidas antropométricas, por estudios realizados a la población general de Latinoamérica (Prado León, Ávila-Chauland, & Luz Gonzalez-Muñoz, 2007). En la ilustración 15 se ven las mediciones realizadas a hombres y mujeres, respectivamente. Posteriormente, en la tabla 2, se muestran los resultados de esta medición de diámetro de pantorrilla en mujeres y hombres entre 4 y 5 años y en la tabla 3, este diámetro en mujeres y hombres en edad laboral.

Ilustración 15: Mediciones masculinas y femeninas



Nota: En las imágenes se pueden observar las medidas realizadas sobre la población genérica latinoamericana, aunque para este diseño se tendrá en cuenta la medida 50, de sexo masculino y femenino, y de la población infantil. Imagen obtenida por dicho estudio (Prado León, Ávila-Chauland, & Luz Gonzalez-Muñoz, 2007).

Tabla 2: Diámetro de pantorrilla en población de 4 y 5 años

Femenino	4 años					5 años				
	Media	D.E.	P5	P50	P95	Media	D.E.	P5	P50	P95
Perímetro pantorrilla	216	15	191	215	245	224	17	196	222	252
Masculino	4 años					5 años				
	Media	D.E.	P5	P50	P95	Media	D.E.	P5	P50	P95
Perímetro pantorrilla	214	17	186	214	242	225	16	199	225	251

Tabla 3: Diámetro de pantorrilla en población entre 18 y 65 años

Femenino	18-65 años				
	Media	D.E.	P5	P50	P95
Perímetro pantorrilla	363	34.94	315	355	426
Masculino	18-65 años				
	Media	D.E.	P5	P50	P95
Perímetro pantorrilla	365	33.78	315	362	420

Nota: En las anteriores tablas, se muestran los resultados del estudio designado, del cual se han obtenido las tablas (Prado León, Ávila-Chauland, & Luz Gonzalez-Muñoz, 2007). Se han destacado los valores más relevantes que se tomarán como referente para designar y realizar el diseño del producto

Según estos estudios sobre la población Latinoamericana, extrapolando estos resultados a la población global y no discriminando por procedencia, al considerar que estos resultados variarán, pero no de manera significativa para nuestro diseño realizado para medidas generales de pantorrilla. De esta manera, se diseñará una sujeción regulable entre 200 y 425 mm de longitud de pantorrilla. Pudiendo ajustar y asegurar la pantorrilla de todos estos usuarios de manera correcta.

Altura Máxima Hasta Punto de Sujeción de Pantorrilla. El punto de agarre adecuado de la pantorrilla es el diámetro máximo de la pierna, ubicado en el tercio medio de la tibia. Por lo que, estudiaremos a qué valor corresponderá esta medida como máximo. Partiendo de las medidas de la población laboral española (Benjumea, 2001), sobre la altura de la tibia, siendo esta la distancia en la vertical desde el suelo, o plataforma de apoyo de los pies hasta el punto más alto de la tibial, el considerado platillo tibial interno. Al no discriminar por sexo en este diseño, tendremos en cuenta los resultados generales de individuos. Como se puede ver en la tabla 4, se diseñará para que la sujeción de la pantorrilla se encuentre como máximo a una distancia correspondiente con 2/3 del percentil 95 de la altura de esta medida.

Tabla 4: Altura de la tibia de la población laboral española

Nº (Refer.ISO 7250:1996)	Designación	Tama. muestr.	Media	Desv. típica	Error típico	Percentil				
						P 1	P 5	P 50	P 95	P 99
7 (4.1.8)	Altura de la tibia	1374	451,78	36,56	0,986	377	398	449	515	548

Nota: Se muestran los resultados de la norma ISO 7250:1996 en el punto 7, que hace referencia a la altura de la tibia, que tendrá que ver con la altura de sujeción de la pantorrilla. Tabla obtenida por el estudio designado (Benjumea, 2001).

De esta manera, se supondrá una medida máxima de tibia de 515 mm, restando este valor de la distancia maléolo externo e interno al suelo supuesto de 110mm. Por tanto, la medida máxima estimada de la tibia será $\frac{2}{3}$ sobre 405mm. Esto resulta en 270mm. Por lo que esta medida será la que influya al tamaño de la guía para la regulación en el eje Z en la sujeción de la pantorrilla.

Longitud Máxima de la Plataforma de Apoyo del Pie. Vendrá designada por la longitud máxima del pie. Es decir, la distancia desde el dedo más largo del pie hasta el talón. Esto determinará la distancia total de ambas plataformas anterior y posterior. En la tabla 5 se pueden los resultados obtenidos en el estudio de la población laboral española (Benjumea, 2001).

Tabla 5: Longitud del pie de la población laboral española

Nº (Refer.ISO 7250:1996)	Designación	Tama. muestr.	Media	Desv. típica	Error típico	Percentil				
						P 1	P 5	P 50	P 95	P 99
30 (4.3.7)	Longitud del pie	1721	251,55	17,8	0,429	210	221	253	279	290

Nota: Se muestra según la norma ISO 7250:1996, el punto 30, que hace referencia a la longitud del pie. Tabla obtenida por dicho estudio sobre la población laboral española (Benjumea, 2001)

De la misma forma que anteriormente, se supondrá diseñar para un percentil 95. Por tanto, la medida máxima en la longitud máxima del pie será de 280mm. Es decir, coincide esta media, con la medida máxima de la longitud total de la plataforma.

Longitud Plataforma Retropié. Para poder posibilitar el estudio del movimiento de inversión-eversión en el antepié, esta plataforma del retropié deberá tener una longitud máxima, que corresponda con la longitud mínima de un posible usuario desde el talón, hasta el medio pie, de tal manera que cualquier usuario pueda ubicar su pie pudiendo apoyarlo y sujetarlo y que hasta el usuario con tamaño de pie menor se le pueda estudiar este movimiento, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6: Longitud mínima de pie de población infantil

Tamaño pie	Media Global	Media 4,5-5 años	Media 5-5,5 años	Media 5,5-6 años
Pie derecho	159,8	153,2	158,4	166
		152,5	154,8	162,6
Pie izquierdo	160,7	153,2	160,4	166,5
		152,9	157,2	163,1

Nota: Se muestran en la tabla los resultados del estudio la longitud mínima de longitud de pie, obtenido en el estudio ya referenciado anteriormente (Prado León, Ávila-Chauland, & Luz Gonzalez-Muñoz, 2007)

Con estos resultados de medidas mínimas, de 152,5 mm de longitud de pie, supondremos que la distancia entre el tobillo y el retropié en el eje horizontal será $\frac{1}{3}$ de dicha longitud. Es decir, suponemos una distancia mínima entre tobillo y medio pie de 50 mm de longitud, resultando, si el centro de la plataforma está alineado con el eje del tobillo, una longitud de plataforma de retropié de 100mm.

Todas estas mediciones, cálculos y suposiciones, se utilizarán en el diseño en 3D, para realizar un diseño acorde a la población, como ya se ha explicado. Las demás medidas quedarán fijadas por optimización de espacio, piezas normalizadas, u holguras entre piezas, pero directa o indirectamente dependerán de estas mediciones precedentes.

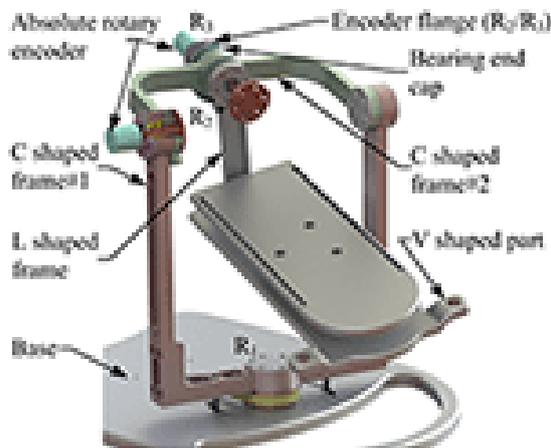
Productos Existentes

Dentro de este subapartado se analizarán los máximos productos posibles, de ellos se tratará de obtener ideas sobre la realización del análisis, el sistema de medición de los ángulos, la cantidad de grados de libertad de la plataforma, métodos de sujeción del usuario e ideas de la transformación de los movimientos o grados de libertad en articulaciones, o rotaciones del producto. Además, se analizarán los aspectos relativos a la solución de referencia precedente (García Soler, 2021). Con esta información se tomarán posteriormente decisiones, para especificar objetivos técnicos y especificaciones, que deberá tener el diseño a realizar.

Soluciones Existentes

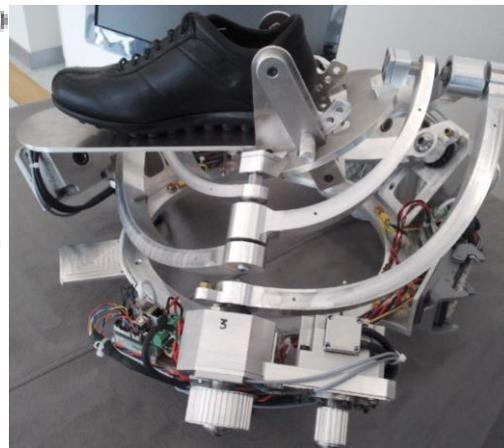
Actualmente, en este ámbito se han realizado diversos estudios o desarrollado diversos proyectos, los cuales han mejorado el método usual de realización de este estudio. Ya que anteriormente se había realizado a través de plantillas con las que se analizaban estas deformaciones y movimientos, como se ha estudiado en el trabajo anterior (García Soler, 2021). A continuación, se muestran varios proyectos destacados sobre los que se realizará un análisis sobre ellos, para abstraer soluciones, giros realizados, desplazamientos, sujeciones o demás (Wen , y otros, 2020) (Malosio, Pio Negri, Pedrocchi, & Vicentini, 2012).

Ilustración 16: Mecanismo paralelo para rehabilitación de tobillo



Nota: Se muestra el mecanismo referenciado anteriormente, con 3 grados de libertad y ajuste de altura. Procedente del primer estudio referenciado

Ilustración 17: Robot esférico paralelo de tres grados de libertad



Nota: En esta imagen se ve otra solución con rotaciones esféricas y ajuste de altura. Procedente del segundo trabajo referenciado

Ahora, se analizarán no el tema de robotización o automatización de las soluciones, sino comparando y sacando conclusiones de giros, sujeciones o posibles mejoras en los productos. Ya que, el ámbito de trabajo y fabricación será el del mecanismo de rotación.

En la primera solución, en la ilustración 16 (Wen , y otros, 2020), se observa la presencia de los 3 ejes, presentándolos directamente a través de las circunferencias respecto las que se efectúa el giro. Con esta solución ocurre una ventaja y una problemática. La ventaja es que reduce enormemente el espacio con otras soluciones encontradas, pero, existen grandes desventajas como la dificultad de fijación de los grados de rotación, la imposibilidad de conseguir rotaciones elevadas y tampoco saber qué grado de rotación se está efectuando. Por lo cual, estéticamente es vistoso y atractivo al comprender

fácilmente su uso, pero para la realización de un análisis en profundidad del paciente no será tan efectivo.

En la segunda solución, ilustración 17 (Malosio, Pio Negri, Pedrocchi, & Vicentini, 2012), se observa, que sigue habiendo 3 grados de libertad respecto el centro del tobillo, pero aparece problemáticas de necesitar una mayor área de espacio de trabajo. Soluciona aspectos como la posibilidad de regulación y robotización de grados de libertad, con rotación respecto el tobillo del paciente. Pero no incorpora otros aspectos importantes para la efectividad del estudio, como fijación de pantorrilla o muslo o la incorporación de un grado de libertad a mayores.

Ambos proyectos sí que realizan rotaciones de 3 grados de libertad respecto el tobillo, de manera mecánica o robotizada, pero no consiguen llegar a fijar pantorrilla o muslo, por lo que podría dar lugar al cambio de posición del tobillo debido al movimiento de la tibia. Por ello, podemos sacar de ventaja la reducción de tamaño y sincronización de ejes y añadir mejoras ya reflejadas, para realizar un diseño mejorado en cuanto a estos ejemplos vistos, además de suponer un cambio y mejora respecto al método inicial de ensayo.

Solución de Referencia

En este apartado debatiré sobre la solución de referencia ya citada anteriormente (García Soler, 2021). Este posicionador se basa en un producto, donde posicionado a una superficie plana, existe una estructura que apoya el pie a ser estudiado por un profesional y obtener datos, de grados de inclinación o demás para corregir este aspecto postural, como se muestra en la ilustración 18.

Ilustración 18: Ensayo del prototipo en varón sano de 23 años





Nota: Se puede ver en la imagen una prueba del ensayo a realizar con el prototipo final, con el que evaluar posibles mejoras y cambios a realizar, para mejorar dicho ensayo (García Soler, 2021)

Por ello, a través de un análisis completo de esta solución, podemos sacar conclusiones para mejorar su uso respecto a estos proyectos ya realizados. Sobre este prototipo anterior (García Soler, 2021), se puede observar de manera genérica, la existencia de una altura de plataforma más elevada a las soluciones anteriores, esto supondrá un problema en usuarios de mayor tamaño al deber fijar pantorrilla y muslo de los pacientes, con la rodilla a 90°, esto ocasionaría tener un asiento en una ubicación elevada. También, se puede observar la no existencia de regulación de altura para asegurar que la rotación del producto es respecto del tobillo, este problema es bastante notable, ya que únicamente rotará la estructura cuando la altura desde el suelo al tobillo sea de una medida determinada, por lo cual pierden validez y credibilidad los resultados de los ensayos. Por el contrario, sí que existen mecanismos de fijación que en principio se pueden considerar válidos. También se pueden observar que las regulaciones de los ejes horizontales se realizan en un sentido cada uno. Entre otras posibles mejoras observadas.

Con todas estas mejoras, posteriormente, se realizarán diversos cambios para poder realizar un estudio completo y correcto con un ortopeda profesional. Según los requerimientos de dicho profesional se realizarán unas mejoras provisionales del producto precedente para evaluar de manera completa el producto, ya que con la solución anterior sería imposible obtener resultados veraces.

Normativa de Referencia

En este apartado, se citarán normativas que se han utilizado y han servido para justificar valores de medidas en la mayoría de los casos. Dentro de estas normativas se incluyen normativas de diseño industrial de referencia que se explicarán a continuación, también aportando ejemplos de dónde se han aplicado y con qué razón. Por las características del proceso de producción de las piezas, no se han podido incluir normativas o medidas con tolerancias dimensionales. Ya que, a pesar de ser necesarias en algunas uniones, estas tolerancias se efectuarán a través de piezas normalizadas de unión, como árboles de precisión, tornillería, o demás. Y en las piezas de impresión 3D donde no se alcanza tanta precisión y exactitud de medida, se tratará de realizar pruebas de unión para ajustar en la medida de lo posible dichas medidas y obtener piezas acordes a las especificaciones.

ISO 273-1979

Esta normativa procede de cálculos de áreas de contacto, dando como resultados un diámetro de agujero pasante para cada diámetro de rosca necesario. Por ello, será determinante en el diseño asegurar que estas medidas de agujeros donde existan pernos o tornillos pasantes, el agujero sea de la medida correcta, en este caso se elegirán de paso medio, ya que al realizar la impresión las medidas de agujeros se reducen. En esta tabla 7 se puede observar la correlación entre diámetros de rosca y diámetros de agujeros pasantes.

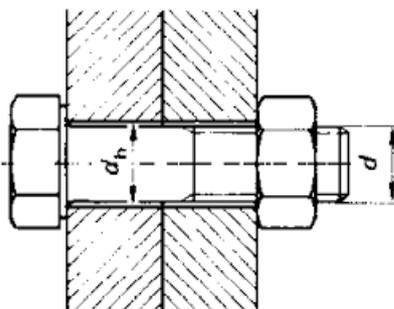
Tabla 7: Diámetro de agujeros de paso

THREAD DIAMETER d	CLEARANCE HOLE d h			THREAD DIAMETER d	CLEARANCE HOLE d h		
	SERIES				SERIES		
	FINE	MEDIUM	COARSE		FINE	MEDIUM	COARSE
1	1.1	1.2	1.3	36	37	39	42
1.2	1.3	1.4	1.5	39	40	42	45
1.4	1.5	1.6	1.8	42	43	45	48
1.6	1.7	1.8	2	45	46	48	52
1.8	2	2.1	2.2	48	50	52	56
2	2.2	2.4	2.6	52	54	56	62
2.5	2.7	2.9	3.1	56	58	62	66
3	3.2	3.4	3.6	60	62	66	70
3.5	3.7	3.9	4.2	64	66	70	74
4	4.3	4.5	4.8	68	70	74	78
4.5	4.8	5	5.3	72	74	78	82
5	5.3	5.5	5.8	76	78	82	86
6	6.4	6.6	7	80	82	86	91
7	7.4	7.6	8	85	87	91	96
8	8.4	9	10	90	93	96	101
10	10.5	11	12	95	98	101	107
12	13	13.5	14.5	100	104	107	112
14	15	15.5	16.5	105	109	112	117
16	17	17.5	18.5	110	114	117	122
18	19	20	21	115	119	122	127
20	21	22	24	120	124	127	132
22	23	24	26	125	129	132	137
24	25	26	28	130	134	137	144
27	28	30	32	140	144	147	155
30	31	33	35	150	155	158	165
33	34	36	38				

Nota: Se muestran los diámetros de agujeros en tornillos o pernos. Tabla obtenida por la norma ISO mencionada (ISO, 1979).

En la siguiente imagen, ilustración 19, se puede observar un esquema de dibujo del corte, con la correspondencia entre “d”, diámetro de la rosca y “dh”, diámetro de agujero de paso

Ilustración 19: Norma 273:1979

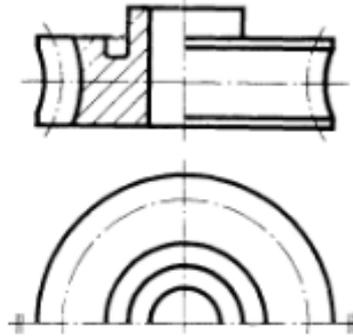


Nota: Se muestra gráficamente la correspondencia entre diámetro de rosca y diámetro de agujero de paso (ISO, 1979).

UNE-EN-ISO-2203

Esta normativa se utilizará para la representación o dibujo técnico de engranajes o conjuntos de engranajes, así como sus signos. Según se muestra en la ilustración 20, con la representación de engranajes helicoidales, esto servirá para representar y justificar estos elementos normalizados utilizados. Se ha obtenido a través de dicha norma (AENOR, 1998).

Ilustración 20: Representación normalizada de engranajes helicoidales



Nota: Se muestra la representación normalizada de engranajes, procedente de la norma utilizada anteriormente (AENOR, 1998).

Diseño

En este apartado, se desarrollará todo el diseño del producto a realizar en todas sus fases, pasando por una fase de mejoras iniciales, para ser estudiado el producto por un profesional ortopeda. De ahí sacar las especificaciones técnicas del producto. A partir de entonces, realizar diseños mejorados a soluciones anteriores, desde diseños de concepto a diseños formales y técnicos de las soluciones. Con ello, realizar comprobaciones finales y rediseños, para obtener un diseño “final”, el cual se definirá completamente, a través de despieces, planos y demás. Este es el apartado más duro y complejo, ya que es en cual intervienen múltiples factores a parte del alumno que realiza el trabajo, intervienen compañeros de trabajo, empresas interesadas en el producto, empresas patrocinadoras del trabajo o empresas suministradoras de productos. Por lo que el diseño tendrá que combinar elementos técnicos analizados anteriormente, con elementos que mejorará poco a poco, para que todas las piezas del puzle puedan encajar y desarrollar un producto útil, necesario, adaptable y versátil.

Mejoras Iniciales

Se han realizado diversas mejoras sobre el producto referencia para realizar una fase de experimentación de un profesional ortopeda, para que pudiera ser estudiada de la mejor manera posible dicho producto. Estas mejoras hacen que el producto sea útil en cierta medida y pueda ser probado y estudiado, con ello, con los problemas observados y la retroalimentación obtenida se realizarán e implementarán las mejoras de un diseño más profesional y de mayor calidad del actual.

Listado de Mejoras

Todas estas mejoras son mejoras realizadas con anterioridad a cualquier paso dado en este proyecto, es un paso entre el proyecto anterior y este. A continuación, se detallan las mejoras explicando detalladamente cada una de ellas.

Amarres de Sujeción. Se sustituyen los actuales de plástico por unos de velcro, para poder fijar en mayor medida el pie y pantorrilla del usuario al producto, y poner goma antideslizante. Esto se debe a los antiguos plásticos que no se adaptaban a la variedad de usuarios. En la ilustración 21 se muestran los velcros añadidos.

Ilustración 21: Velcros en el conjunto



Nota: Se muestra el cambio realizado respecto los plásticos que se encuentra en imágenes como en la ilustración 18. Imagen de obtención propia

Base de Estructura de Perfilería. Se crea una estructura base sobre la que se fijará el producto, a través de perfilería existente y el corte transversal de perfiles. Se le añaden otros componentes como tapetas, tornillería o pies base, para asegurar una base mayor del producto, su estabilidad y para soportar mayores fuerzas. Estos cambios se observan en la ilustración 22 con el perfil transversal. También aparecen en esta mejora elementos de tornillería.

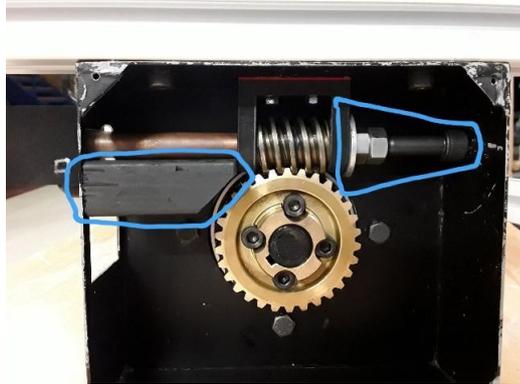
Ilustración 22: Perfil transversal



Nota: En la imagen anterior, se muestra en general la realización de una base a través de perfilería y demás componentes, que se encontraban existentes, entre ellos perfiles, tapetas, pies base, tornillería, ...Imagen de obtención propia

Calzo de Madera y Tornillo. En la rotación del eje vertical, la pieza que une la base con el tornillo flexa en “U”, por lo que se produce un movimiento no deseado que se debe corregir. Para ello, se empotra un calzo de madera y un tornillo, ya existente, como se muestra en la ilustración 23. De esta manera, se evita este movimiento con una fuerza de sentido contrario a la fuerza causante del mismo.

Ilustración 23: Solución provisional



Nota: En la imagen anterior, se muestra el movimiento que se producía y afectaba al movimiento del tornillo sin fin del vertical, y se corrige con calzo y tornillo. Imagen de obtención propia

Sujeción al Soporte Base y Mango al Eje Vertical. Se realiza un taladrado en la base para unir con 4 tornillos y “Ts” al perfil longitudinal, de tal manera que, la base del producto esté fijada, como se ve en la ilustración 24, y se pone un mango al eje vertical, para mejorar su manipulación, como muestra la ilustración 25.

Ilustración 24: Tornillos en la base

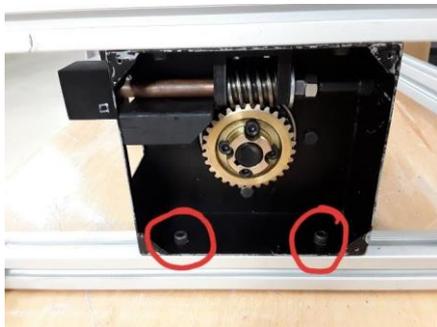


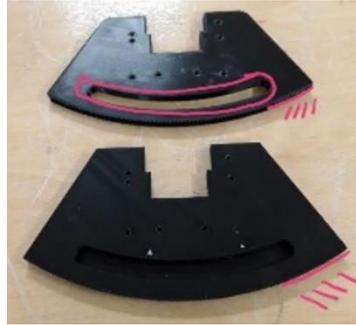
Ilustración 25: Mango en el eje rotacional



Nota: Se muestran tornillería utilizada para fijar la base a la estructura fabricada anteriormente y se acopla un mango en el eje rotacional para su mejor manipulación. Imagen de obtención propia

Repetir Piezas y Reducir Holguras. Se ha repetido la impresión, para cambiar el ángulo de giro de -8° a 8° como debería ser, esto se muestra en la ilustración 26, donde la pieza inferior a parte de no ser pasante el agujero hace una rotación de 8° mayor para el sentido contrario, y se vuelve a imprimir la cajera para reducir 1 mm la holgura en los patines deslizantes, donde se apunta a la pieza repetida en impresión.

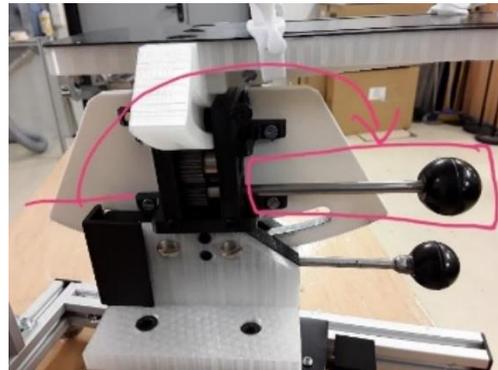
Ilustración 26: Pieza de rotación



Nota: Se muestra la pieza repetida, se ve la pieza inicial no pasante y la pieza final pasante con el cambio de ángulo de sentido. Imagen de obtención propia

Dar Vuelta a La Palanca. Se da la vuelta a la palanca lateral ya vista para quedar del mismo lado ambas palancas, de tal manera que se puedan manipular los ejes desde una única ubicación como se puede ver en la ilustración 27, reduciendo el espacio, la zona de trabajo y mejorando la maniobrabilidad. También se imprimen piezas laterales de ajuste, para mejorar la tolerancia en la unión por contacto entre las paredes.

Ilustración 27: Palanca en sentido contrario



Nota: En la imagen anterior se muestra el cambio de sentido de la palanca. Imagen de obtención propia.

Eliminación de Holguras. Se han tratado de eliminar diversas holguras. Para ello, se han realizado los siguientes cambios: Añadir tornillos avellanados para que aprieten a través de una cuña; añadiendo tornillos pasantes con tuerca, y 2 tornillos pasantes con insertos roscados. Con todos estos cambios se palia temporalmente la problemática de holguras, como se muestra en la ilustración 28.

Ilustración 28: Tornillos avellanados y pasantes con tuerca



Nota: Se muestran en las imágenes las soluciones realizadas para ajustar las holguras existentes, como ya se ha explicitado.

Regulación de Altura de Brazo de Sujeción. Se cortan y utilizan varios perfiles existentes, para poder regular en altura la sujeción de la pantorrilla. Ya que cualquier usuario que no esté en la medida fijada del brazo actual, no podrá serle fijada la pantorrilla de manera correcta. Esta modificación se ha pensado de la siguiente manera, desde los 350 mm de altura de la base donde el usuario apoya el pie, hasta una altura máxima de pantorrilla, que se ha estudiado de 600 mm. Por lo que, se ponen 2 perfiles de altura máxima, y un perfil longitudinal regulado a través de conectores, de tal manera que, fijando los conectores se fijará la altura del brazo y desalojándolos podrás variar la altura, se muestra el resultado en la ilustración 29.

Ilustración 29: Regulación eje vertical y prototipo final mejorado



Nota: Se muestra el cambio de brazo para posibilitar la regulación vertical explicada, a través de recursos ya existentes. Este también será el prototipo que probar por el ortopeda profesional. Imagen de realización propia

Con estas regulaciones, se mandará el producto a ser estudiado por el profesional ortopeda. Con ello, será estudiado y probado, con diversos usuarios simulando una estudio real y definitivo. Este es un paso importante y fundamental, ya que, a pesar de haber obtenido ciertos conceptos, dicho

profesional tendrá mayores conocimientos y es quien realizará el estudio posteriormente. Por tanto, es quien en última instancia comprobará la solución y verá directamente qué falla, qué puede mejorar o qué necesidades requiere, en la ilustración 29 se ha mostrado el producto con estas mejoras iniciales mencionadas.

Diseño 2.0

Este apartado será el más creativo y técnico por mi parte, ya que se tendrá que abstraer los conocimientos de desarrollo de producto, de diseño 3D y demás para, partiendo de 0 diseñar un producto preciso, técnico, funcional y útil. De manera que se seguirán diversos pasos, para ir avanzando y definiendo el diseño, partiendo del análisis de mejoras por nuestra parte y la del ortopeda, para empezar a proponer soluciones conceptuales e ir convirtiéndolas en soluciones técnicas y concretas, que convengan sobre su uso, funcionalidad y fiabilidad.

Ejes Propuestos

Se proponen unos ejes para la nomenclatura a posterior de regulaciones o variaciones, para saber siempre en todo momento a qué eje se está haciendo referencia, como se muestra en la ilustración 30, el eje vertical corresponde con el eje Z, el eje horizontal paralelo dirección de la marcha corresponde con el eje Y, y el eje horizontal perpendicular a la dirección de la marcha corresponde con el eje X.

Ilustración 30: Ejes del producto a diseñar



Nota: Se presentan los ejes que se utilizarán durante el desarrollo del diseño (Eje Z vertical, Eje X, Y horizontales), imagen de obtención propia, sobre el diseño referencia mejorado

Especificaciones del Diseño

En este subapartado, se hablará de especificaciones del diseño, o también, los podemos considerar objetivos específicos. Estas especificaciones nacen de todos los pasos anteriores, aunque según se realice el diseño se realizará un proceso de mejora continua para continuar mejorando y analizando continuamente qué mejora. A continuación, se irán mencionando estas especificaciones contando cuál son las deficiencias mencionando al producto de referencia.

Regulación Sujeción Pantorrilla. En primera instancia, existía un tipo de sujeción de la pantorrilla del usuario, la cual se muestra en la ilustración 31, como ya se ha explicado y mejorado anteriormente este sistema no es correcto, al no adaptarse a toda la variedad de posibles pacientes o usuarios, por lo que el diseño a realizar debe implementar una solución correcta y sólida para poder realizar esta regulación de altura del eje Z, vertical. Tampoco serán válidas soluciones temporales como las realizadas en la mejora inicial. Por lo que debe existir una estructura que fije la pantorrilla a cualquier paciente independiente de sus proporciones, para lo que se ha estudiado anteriormente medidas límites de usuarios.

Ilustración 31: Primera sujeción de pantorrilla



Nota: Se muestra la solución defectuosa, que deberá ser corregida por la segunda versión del diseño. Imagen de obtención propia

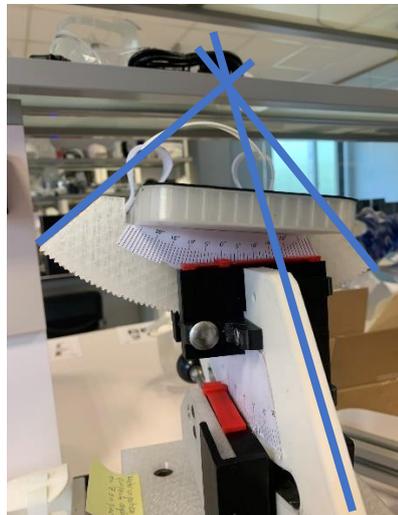
Regulación Producto Eje Y. Actualmente, la regulación en este eje Y, paralelo a la dirección del pie se realiza a través de unos tornillos fijos a la

estructura, esto aporta estabilidad al posicionador, pero resta variabilidad. Se requiere una regulación sea tan compleja su manipulación como desmontar y montar tornillería del producto, sino que el propio ortopeda pueda accionar empuñaduras o manivelas que permitan variar esta medida y obviamente fijarla, según sea conveniente para el estudio. Esta necesidad nace de tener usuarios de variabilidad de tamaño y tener que alejar en el eje Y respecto del brazo, o acercarlo en caso contrario. En la ilustración 29 se ha podido observar esta deficiencia en el producto de referencia.

Centro de Rotación Coincidente con Tobillo. Un factor muy importante en este estudio es el del centro del tobillo, desde donde rota este posicionador, hasta ubicarlo en la posición correcta. Este punto no debería ser fijo, ya que, dependiendo del tamaño de pie, la altura desde la planta hasta el tobillo será variable.

Por ello, a través de una base regulable en altura o algún sistema similar, se podría obtener estas rotaciones desde el punto determinado y adecuado a cada usuario. Dicha regulación será efectuada por el profesional hasta hacer coincidir el centro de rotación con el tobillo. En la ilustración 32 se muestra el centro de giro del producto de referencia, sin regulación existente de la altura de la plataforma.

Ilustración 32: Centro de rotación de producto referencia



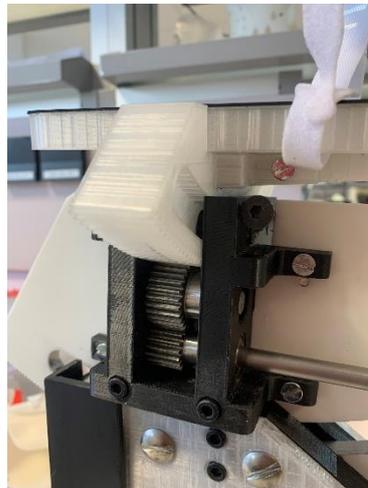
Nota: Se muestra en la imagen el centro fijo de rotación, actuando como una rótula respecto este punto de unión de radios. Imagen de realización propia.

Mejora de las Holguras. Actualmente, existen diversas holguras excesivas en el producto, a la hora de ajustar estos ángulos de giro, por lo que los engranajes deberían ser más precisos, para no variar en tanta medida y poder ajustarse de manera más exacta a la variación del usuario en ambos ejes X, Y. Esto se considera que ocurre por fallos en tolerancias de impresión, fallos

de cálculos o uniones inadecuadas, que hacen que exista una variabilidad no aceptable en el diseño. Por ello, se tratará de hacer un diseño bien calculado, impreso entre las especificaciones y realizar las comprobaciones adecuadas para obtener un resultado final conforme.

Soportar Fuerzas Humanas. Actualmente, con el mecanismo que se encuentra en la parte superior, debido a que los engranajes giran en el mismo eje que lo hace el pie, simplemente al aplicar fuerza el usuario podría mover este ángulo, de manera que, este debería estar muy prieto para que no se produzca. Este aspecto podría ser mejorado sustituyendo el mecanismo por uno que no permita girar cuando el usuario aplique fuerza, como por ejemplo un tornillo sin fin como las demás rotaciones. En la ilustración 33, se muestra este aspecto, donde se observa el giro de los engranajes y de la plataforma en este eje Y.

Ilustración 33: Engranajes Rotación Y



Nota: Se muestran los dos engranajes conectados al eje actuado por el ortopeda, que da lugar a la rotación en este eje Y de la plataforma y que con una fuerza de pie humano podría ser manipulada esta rotación. Imagen de fuente propia

Implementar 1 Grado de Libertad en Antepié. Como ya se ha explicado en alguna ocasión anterior para mejorar este estudio, se plantea añadir una base distinta para la parte posterior y anterior del pie. Por una parte, podrá rotar la parte anterior del pie, y por otra la parte posterior, divididas según las mediciones y estudios tomados por mediciones antropométricas ya analizadas. En la ilustración 34 se muestra la plataforma continua de la solución existente, para intuir donde se encuentra el eje y respecto donde rotará la plataforma para evaluar el movimiento de eversión-inversión en el antepié.

Ilustración 34: Plataforma continua producto de referencia



Nota: Se muestra la plataforma de apoyo de la solución anterior, donde se proyecta el eje Y paralelo a la dirección de marcha del pie humana, respecto donde se plantea realizar la rotación de dicha plataforma. Imagen de realización propia

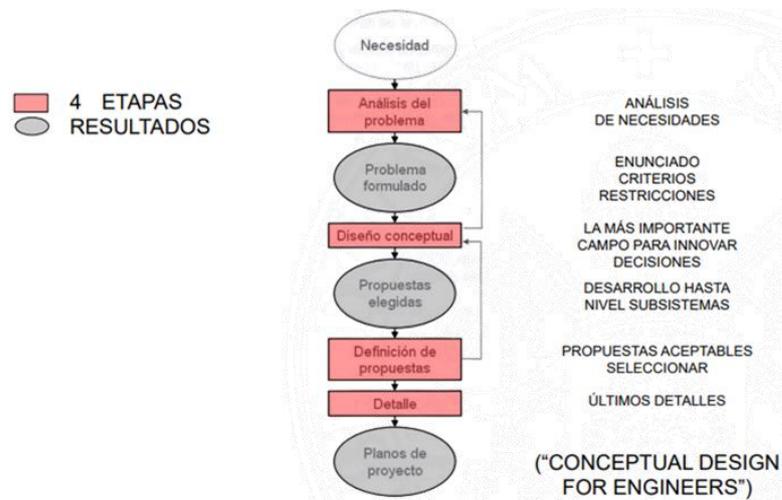
Método de Escáner. Otro requisito que se plantea es el de escanear el pie, ya que de por sí ya existe la posibilidad de escanear la parte exterior del pie de manera sencilla pero no la planta del pie. Se podría realizar un escáner posterior o independiente del posicionador; utilizar plantillas de pies que se introduzcan en la base donde se apoya el pie; ofrecer la posibilidad de escanear a la vez que se posiciona el pie a través de algún cristal o demás posibilidades. Por tanto, se deberá analizar soluciones para tener un diseño pensando en el proceso de trabajo de escáner, archivo CAD, impresión 3D y órtesis necesaria.

Otros. También, existirán nuevas modificaciones que se irán concretando según pase el tiempo para quedar definido el proyecto. Por lo que se deberá aplicar las metodologías del proceso de diseño para en todo momento concretar, diseñar y reproducir las soluciones más apropiadas y óptimas a las necesidades, sin dejar un diseño estancado o inviable. Esto significará una mayor dedicación dentro del proyecto, para aplicar todo el potencial de conocimientos acorde con la tecnología y posibilidades que se ofrezcan. Es decir, tratar de convertir oportunidades o ideas, en realidades y mejoras, que harán del proyecto no algo mundano sino impactante en la sociedad. Por ello, uno de los objetivos específicos será el de la dedicación y análisis, como sugiere el evangelio de San Marcos 3, 22-30 “Nadie puede meterse en casa de un hombre forzado para arramblar con su ajuar si primero no lo ata; entonces podrá arramblar con la casa”, por tanto, se debe analizar en las fases previas al diseño para realizar la labor de manera correcta posteriormente (MARCOS, Siglo I).

Estas son unas de las posibles mejoras que se han visualizado por mi parte, compañeros y profesionales involucrados en el proyecto, aunque podrán

cambiar según vaya avanzando el proyecto para llegar a una versión mejorada. Por ello, se irán avanzando y desarrollando estos objetivos específicos según se vaya profundizando, analizando y dando vueltas al proyecto, en cada una de las fases del diseño, como se han podido estudiar durante la titulación en asignaturas como “Metodología del diseño” por José Manuel Geijo Barrientos. En la ilustración 35 se puede observar la metodología de realización de proyectos desarrollada por M. J. French en 1985 y estudiada en la asignatura nombrada en el apartado de teorías, metodologías y métodos del diseño industrial (Geijo Barrientos, 2019) (French, 1985).

Ilustración 35: Metodología por M.J. French



Nota: Se muestra el diagrama utilizado en el modelo de trabajo mencionado de M.J. French (French, 1985), y estudiado cada punto durante la licenciatura. Imagen obtenida por la asignatura citada (Geijo Barrientos, 2019).

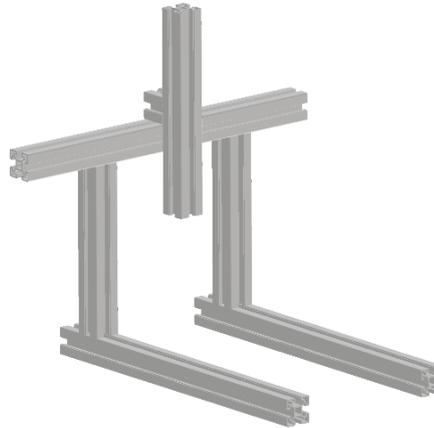
Diseño Conceptual.

La manera de trabajar este primer diseño será en primer lugar, desarrollar diseños conceptuales rápidos que traten de resolver los problemas que se han observado. De esta manera, se obtendrán diversas maneras de realizar este diseño, para tras diversas revisiones, realizar un diseño completo en su conjunto, que cumpla el máximo de objetivos y de la manera más correcta, tratando de cumplir nuevas funciones y solucionar problemas observados. Para en el siguiente apartado evaluar y analizar esta solución y desarrollar un diseño formal, más preciso, sobre el que trabajar en rediseños y demás.

Regulación Sujeción Eje Z. En la mejora realizada en el producto de referencia, como se ve en la ilustración 29, se puede apreciar, el excesivo material utilizado. Ya que se ha implementado 2 conectores y 2 perfiles de gran longitud para una única regulación de altura. Por tanto, se tratará de realizar

una regulación de altura de sujeción de pantorrilla acorde a las necesidades y con una cantidad de recursos reducida. A continuación, en la ilustración 36 se muestra la posible solución encontrada a esta necesidad.

Ilustración 36: Solución a regulación en eje Z de la sujeción



Nota: Se muestra la posible solución a la regulación en eje Z, donde ese perfil vertical pueda ser ajustado a través del conector, se muestra detalle de este. Imágenes de obtención propia a través de programas CAD.

En esta nueva mejora, lo que se trata es de a través de varios perfiles, se monte una estructura con dos perfiles unidos a los perfiles laterales del eje Z, otro perfil en el eje X, y un perfil en el eje Y. Se uniría a través de un conector de cabeza redonda de canal 10 en caso de ser un perfil 40x40. Con esta unión, el profesional a realizar su estudio únicamente tendrá que ajustar este conector, aflojando y regulando a la posición correcta según la altura de la pantorrilla.

Por lo cual, abre el camino a realizarlo de distintas maneras, todos estos elementos se han adquirido a través del estudio del catálogo de suministradores industriales como FASTEN (Sistemas, 2017). Como se muestran en la ilustración 37, distintos elementos de unión de este suministrador, los cuales se podrán utilizar en el diseño formal.

Ilustración 37: Tornillería canal 10 mm



Nota: Se muestran los elementos de unión que harían posible la fijación de la estructura, en este caso pensando en el uso de perfiles de sección 40x40 de FASTEN, a falta de especificar

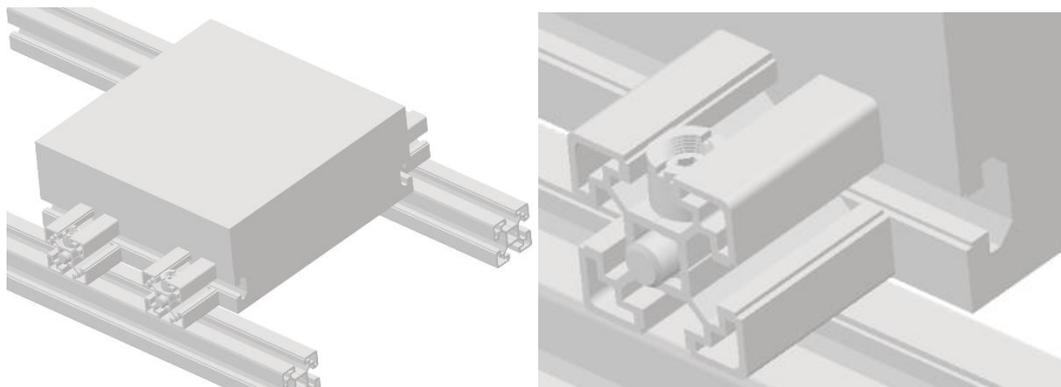
de manera concreta demás aspectos no fijados. Imagen obtenida por el catálogo de FASTEN mencionado (Sistemas, 2017).

Por ello, con esta idea de estructura mejorada, se tendrá en cuenta, una vez realizados otros componentes del producto de incorporar esta regulación al conjunto, o analizar si encajara con los demás componentes e ideas que se contemplan para el desarrollo del diseño de concepto total del producto.

Regulación Eje Y del Producto. Esta mejora parte de 0 ya que, en el diseño original, no se plantea esta variación y regulación en este eje, por lo cual se tratará de idear un sistema que siga fijando todo el conjunto de la estructura y del producto, pero que permita su movimiento en este eje Y, como se ha explicado en las especificaciones del producto.

Se considera importante dar esta posibilidad al profesional, para que pueda cambiar la distancia entre el brazo de sujeción y el producto, como ya se ha explicado, de manera puntual. En este nivel del diseño se han ideado 2 soluciones a nivel conceptual.

Ilustración 38: Idea 1 Regulación eje Y Producto (Detalle)



Nota: Se muestra la primera idea de realización de dicha regulación, donde se muestra la base del producto y como se realizará la unión entre la base de la estructura y la base del producto, a falta de escuadras y tornillos, así como un detalle de este. Imagen de realización propia a través de programas CAD.

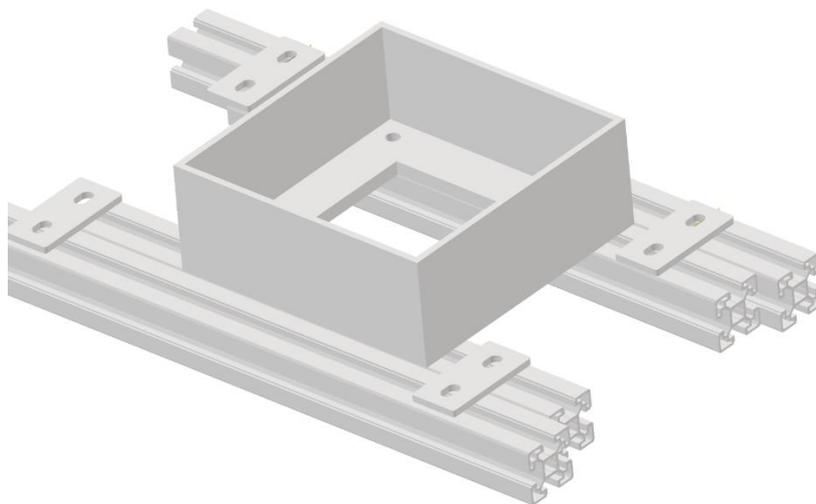
Esta primera idea, la cual se muestra en la ilustración 38, parte de los perfiles de la base, donde se fijan 4 perfiles de longitud 40 en este caso, 2 en cada perfil de la estructura, desde cada perfil se unirá al producto a través de conductores de cabeza redonda. Al apretar estos 4 conectores, se fijaría la posición del producto. Una vez se aflojan, podrá variar entre un punto y otro, siendo una variación máxima de 100 mm en el eje Y, con una base de medidas cuadradas de 200x200. También habría que estudiar en qué posición del eje convendría situar esta variación de 100 mm en eje.

Como posibles problemas o mejoras, cabe decir que, la unión entre los conectores y el producto es a través de una ranura semejante a la de los perfiles utilizados para la unión, pero que se fabricará en un material menos resistente, al realizarse todas las piezas no normalizadas en el proceso de fabricación de la impresión 3D, por lo que este factor podría afectar al diseño del producto. Así como su complejidad para imprimir esta sección del perfil en 3D, con los demás componentes con los que se realizará el posicionador, por lo que habría que comprobar la viabilidad de esta solución y comparar con la siguiente solución en esta regulación que se propone.

Esta segunda idea, la cual se muestra en la ilustración 39, no se varía o modifica la unión entre la base del posicionador y la perfilería, sino que se modifica la unión entre estos dos perfiles. De tal manera que, fijando esta base a un perfil de menor medida, se podrá modificar la unión entre este perfil y el perfil de la base de la estructura. Por tanto, esta solución se realizaría a través de un nuevo componente las pletinas de unión, existiendo una regulación al aflojar y apretar el tornillo que une la pletina con el perfil unido a la pieza base de la estructura.

Se ven ventajas como que la regulación se produce entre elementos de fijación, por lo que el producto estaría siempre fijo a la estructura que se regula. Por el contrario, surge una problemática, que es la fiabilidad y el soporte de cargas a través de estas pletinas, sistema en caso de usarse que debería comprobarse y asegurarse de su correcto funcionamiento

Ilustración 39: Idea 2 regulación producto eje Y



Notas: Se muestra esta segunda idea de unión, con la ubicación donde se fijaría la base del producto al perfil y la ubicación de las pletinas de unión fijadas al perfil de la estructura base.
Imagen de obtención propia a través de programas de desarrollo 3D.

Entonces, comparando ambas soluciones, habría que estudiar, qué variación nos interesa realizar, dónde está situada, y demás preguntas, para elegir qué solución es óptima para el estudio a realizar y definir de manera exacta esta unión entre producto y base de estructura. Por ello, posteriormente, según se vayan concretando y definiendo parámetros, se reestudiará estas opciones para tomar decisiones y realizar una regulación en este eje Y, viable y correcta.

Centro de Rotación y Tobillo. Para esta mejora, se plantean diversas soluciones. La primera idea es la de unos tornillos unidos a la base donde apoya el talón el usuario, estos tornillos roscarían en una tuerca, unida al resto del producto. Esta idea surge de una idea semejante a la cama de las impresoras 3D convencionales, al haber estado trabajando con ellas. Estas se regulan y posicionan de manera similar a la requerida, con un tornillo, haciendo subir o bajar la cama, para que la impresora extruya las primeras capas a la distancia determinada, como se muestra en la ilustración 40.

Ilustración 40: Tornillo ajustable cama de impresoras 3D



Nota: Se muestra un ejemplo de tornillo fijado a la plataforma que, a través de una tuerca, en este caso la tuerca azul para mejor manipulación se manipula y regula la altura. Imagen obtenida por icuenca.com en uno de sus blogs (icuenca.com, 2017).

La otra solución que se ha encontrado es la de plataformas elevadoras de laboratorio, como las que se muestran en la ilustración 41, que podrían adecuarse a la base donde apoyar el pie. Como se puede ver, existen dos tamaños de ellas, dando elevaciones de hasta el doble de la longitud nominal. Para el uso requerido, no se considera necesario ya que la variación en altura desde el tobillo al talón será, como se estudió anteriormente, entre 45 y 105 mm, por lo tanto, no interesaría una variación de 200 milímetros. También, se podrá incorporar un cartel sujeto a la base inferior indicando donde se encuentre el centro de rotación, para que el ortopeda profesional pueda asegurar la coincidencia aproximada del centro de rotación del producto con el tobillo.

Ilustración 41: Plataformas elevadoras de laboratorio simple y doble



Nota: Se muestran dos posibles soluciones a la elevación regulada en el eje Z de la plataforma de apoyo del usuario, donde ajustando este producto, simple o doble, se lograría coincidir centro de rotación con tobillo. Imagen obtenida por oferta de este producto en Amazon (Amazon, Plataforma elevadora de laboratorio 100X100mm, 2020) (Amazon, 2022).

Con estas dos ideas, se tomarán decisiones posteriormente, para comprobar la viabilidad de cada solución y con el diseño en conjunto de cada uno de los componentes.

Sujeción del Usuario. Se plantea una solución para sujetar la pantorrilla de manera que, a través de la perfilería utilizada en la regulación en Z del brazo, se una a varias piezas de impresión 3D. Estas piezas diseñadas se podrán ajustar y fijar a pantorrilla y pie del usuario al producto, para realizar las diversas rotaciones. Una vez determinado el diámetro mínimo y máximo de pantorrilla, como se ha visto en el apartado de estado de la técnica entre 190 y 420 mm de diámetro. En la ilustración 42, se puede observar una posible sujeción de pantorrilla, de tal manera que imprimiendo esta pieza en 3D en un material flexible, se pueda fijar a todo tipo de usuarios en la pantorrilla.

Ilustración 42: Sujeción de pantorrilla

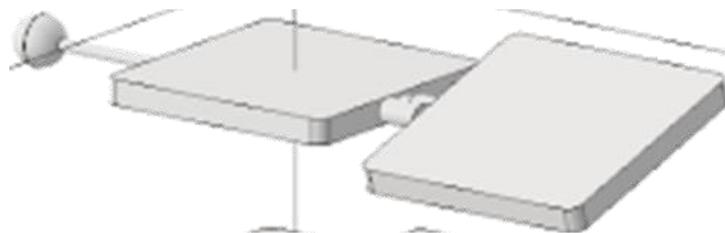


Nota: Se muestra la sujeción de la pantorrilla pensada. Imagen de obtención propia a través de programas de desarrollo CAD.

Con esta solución, habría que estudiar la unión entre la sujeción y el perfil, para asegurar su fijación, y la fuerza de sujeción que se aplica en la pantorrilla con la unión entre estos agujeros y ejes. También, se ha pensado un sistema similar para la sujeción del pie, con estos mismos agujeros y ejes adaptados a los diámetros del pie y demás. Pero ya quedaría aplicar un mayor tiempo, para definir estas sujeciones según el diseño de los demás componentes como las plataformas de apoyo del pie.

Implementar Grado de Libertad en Antepié. La primera idea sobre realizar la división de la plataforma en retropié y antepié, incorporando un grado de libertad en esta plataforma de antepié, debido al movimiento eversión-inversión, es a través de un eje incorporado dentro de la plataforma que vaya conectado a un engranaje y sea este engranaje el encargado de transmitir el movimiento a la plataforma del antepié unida a través de engranajes y rodamientos a la otra plataforma, esta idea se puede ver en la ilustración 43.

Ilustración 43: Idea Rotación eje Y Antepié



Nota: Se muestra la solución ideada sobre la división de plataforma y la rotación. Imagen de realización propia a través del desarrollo 3D.

Valorando esta idea, podría existir un problema de fijar ángulos de rotación ya que, aunque la plataforma del antepié soportaría cargas menores a la plataforma del retropié, a poca carga sufriría una rotación no deseada, sin la posibilidad de fijar un ángulo preciso de dicha rotación. Por ello, sería de vital importancia buscar soluciones más firmes y viables. Ya que no tendría sentido incorporar tornillos sin fin para evitar la problemática de soportar cargas y al mismo tiempo añadir un grado de libertad regulado con engranajes.

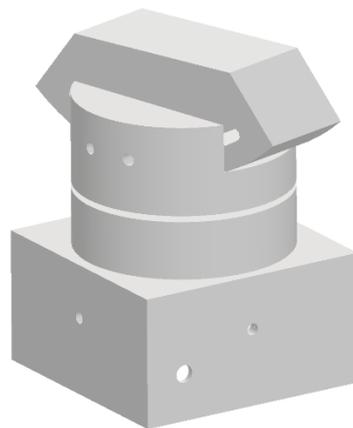
Con estos análisis preliminares, quedaría por analizar los problemas como soportar fuerzas humanas elevadas, implementar la posibilidad de escanear o realizar un diseño menos voluminoso. Son especificaciones que se tratarán de realizar con el paso del tiempo y realizando un mejor diseño en conjunto.

Así, en este momento se desarrollará el primer diseño de conjunto a nivel conceptual, donde se podrán ver distancias, dimensiones y demás, para servir como referencia a los diseños posteriores más específicos y técnicos.

Entonces, este será un paso fundamental, porque una vez se tengan pensados todos los componentes y su funcionamiento se podrá pensar en mejoras, deficiencias o buenas soluciones. Y esto es lo que se tratará de obtener con la realización de este diseño conceptual en conjunto, este desarrollo se puede ver en el método analizado de trabajo y desarrollo de productos de M.J. French ya analizados (French, 1985) (Geijo Barrientos, 2019).

Diseño Conceptual del Conjunto. Empezando con la base del producto ir construyendo las 3 regulaciones, que hacen la existencia de una rótula, realizando piezas generales, sin entrar en detalles. En la ilustración 44 se ve como la rotación vertical estará en el interior del producto y las otras dos rotaciones se realizarán con ejes que moverán las piezas cilíndricas, que corresponderían con ruedas helicoidales.

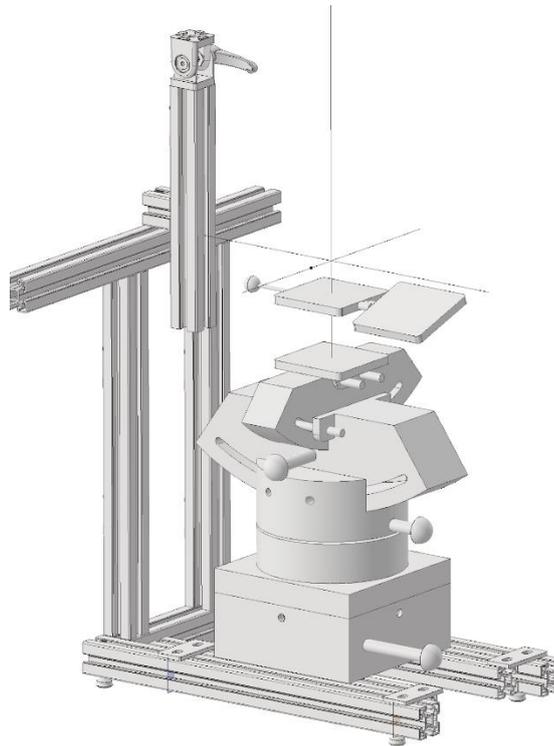
Ilustración 44: Desarrollo del diseño conceptual



Nota: En esta imagen se puede observar el concepto de rotación del eje Z vertical y el eje X horizontal. La imagen es de desarrollo propio de este diseño conceptual

Con todo este proceso se ha pensado el siguiente esquema de producto, que se puede observar en la ilustración 45, donde existe una estructura base, desde donde, se regula el desplazamiento en el eje Y, y el desplazamiento en el eje Z del brazo de sujeción de la pantorrilla, como se ha visto en los puntos anteriores de desarrollo del diseño conceptual. Desde dicha estructura base, se fijará al suelo a través de 4 pies, y a partir de la unión entre el producto y la estructura base, se irán realizando las diversas regulaciones de rotación en eje Z y eje X, solidarias para ambas partes del pie, tanto retropié como antepié, y posteriormente se dividirán entre estas dos partes, para poder regular distintamente la eversión-inversión de dichas partes, correspondiendo con una regulación de rotación en el llamada eje Y. Encima de estas 3 regulaciones de rotación, existirán unas plataformas elevadoras, para poder regular el desplazamiento en el eje Z y poder adecuar la altura y los ejes de rotación según el tamaño del pie de los usuarios.

Ilustración 45: Diseño conceptual del producto

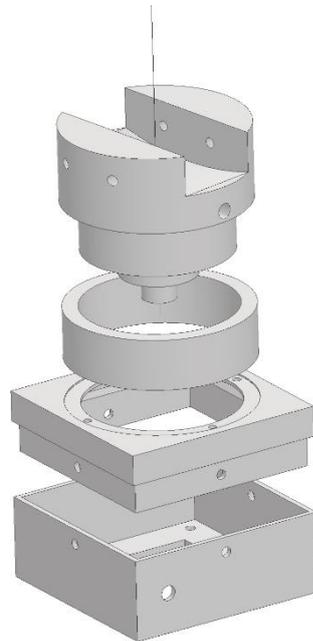


Nota: Se muestra el diseño conceptual del producto con la segunda idea de regulación del eje Y. Se nombran las regulaciones de arriba abajo. Rotación del eje Y (Antepié), traslación en el eje Z (Plataforma), rotación del eje Y (Producto), rotación del eje X (Producto), rotación del eje Z (Producto) y traslación eje Y (Estructura). Imagen de diseño propio.

A continuación, se explica de manera breve, cada una de las partes que compondría el producto de manera conceptual, obteniendo en una última instancia este producto completo y en conjunto de los componentes.

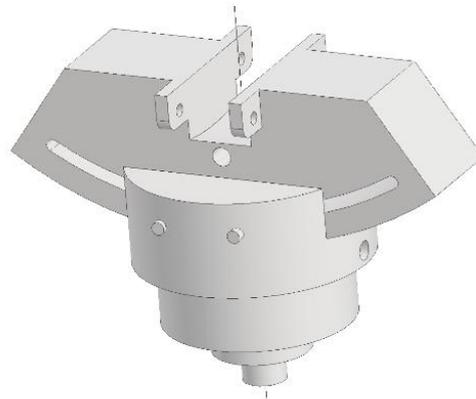
La primera parte del producto consta de la base del producto, sobre la que apoya y resiste la mayoría de las fuerzas. Se formarían por 4 piezas generales, 3 de ellas fijas a la estructura base y una de ellas móvil, como se muestra en la ilustración 46. Las dos siguientes partes del producto se basarán en piezas donde a través de ruedas dentadas helicoidales y tornillos sin fin acordes a estos engranajes, como se desarrolló en el producto referencia la regulación de rotación del eje X (García Soler, 2021). De esta manera, se permitirá la rotación de las piezas superiores con respecto a la rotación de la manivela unida a los tornillos sin fin, para permitir únicamente este grado de libertad. Así se muestra en la ilustración 47.

Ilustración 46: Primera parte diseño conceptual



Nota: Se muestran las 4 piezas de manera conceptual, de la rotación del eje Z de manera explosionada (Base, tapa, Rotación Z y rodamiento). Imagen de desarrollo propio.

Ilustración 47: Rotaciones Eje X, Y



Nota: Se muestran los 3 componentes de esta rotación respecto el eje X, con 2 pasadores y una rueda dentada, que engranaría con un eje ubicado en el orificio lateral desde donde se accionaría. De manera similar, se realiza la rotación del eje Y. Imagen de desarrollo propio.

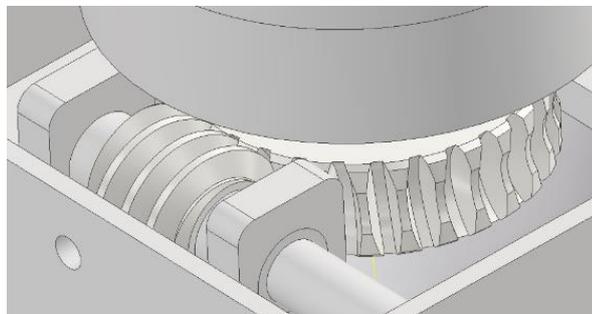
De esta manera, se tratará de usar este concepto como referencia de diseño del producto para desarrollar todos los componentes ausentes en esta idea, como rodamientos, tornillos sin fin, entre otros. Para definir poco a poco el producto y tratar de abstraer problemas, mejoras, soluciones, ...

Diseño Formal

En este momento del diseño, se tratará de realizar todas las uniones piezas por pieza, teniendo como referencia el diseño conceptual realizado anteriormente y desarrollando componente por componente. La estructura de trabajo en este apartado será definir estos elementos, como tornillos sin fin, engranajes helicoidales, rodamientos o demás, primero de la rotación del eje Z, luego de la rotación del eje X, Y, la traslación de la plataforma en el eje Z y por último la rotación de la plataforma respecto al eje Y.

Diseño de Elementos Normalizados Eje Z. En este eje, se ha tomado como referencia el utilizar elementos ya existentes del producto de referencia (García Soler, 2021) ya que, de esta manera serviría para el montaje, elementos ya existentes, en caso de no ofrecerse la posibilidad de adquirir estos componentes nuevos. Por ello, a esta base realizada anteriormente, se le añaden unos salientes sobre los cuales se fijarían rodamientos o casquillos ya existente, además de ubicarse un eje del tamaño adecuado. En el caso del engranaje helicoidal, de la misma manera elegido un engranaje existente en la solución de referencia se fijará con la pieza Rotación Eje Z. Así, el tornillo transmitirá el movimiento a la rueda, que estará fija a esta pieza ya mencionada. En la ilustración 48 se muestra un detalle del interior de la realización de esta solución realizada en detalle.

Ilustración 48: Rotación Eje Z (Conjuntos de rueda helicoidal)



Nota: En esta imagen se ven los componentes añadidos al diseño conceptual, que son rueda helicoidal, tornillo sin fin, rodamientos, eje, base y los propios salientes de la base. Imagen de realización propia, gracias a las especificaciones de componentes.

La referencia de la rueda helicoidal utilizada sería 22500-532015, y la referencia del tornillo sin fin utilizado sería 22500-531013 (NORELEM). Con estos componentes normalizados, faltarían demás elementos como rodamientos, ejes o demás que deberían coincidir con las medidas y especificaciones de este conjunto de rueda helicoidal, para quedar definida esta regulación.

Rotación Producto del Eje X, Eje Y. Después de todos los elementos diseñados en la regulación de la rotación Z, se incorporará al elemento denominado Rotación Z, tornillo sin fin que engrane con una corona respecto el centro de rotación del producto, para realizar de manera similar la rotación del Eje Y, se incorporarán a esta corona un tornillo sin fin y una corona, para realizar esta rotación, sobre la cual se atornillará la plataforma conveniente que se designará posteriormente. Por tanto, en este momento, toca elegir este tornillo sin fin y engranajes de rueda helicoidal, con los que realizar las regulaciones y a partir de ello, elegir los demás componentes como ruedas helicoidales, engranajes, ejes o demás elementos.

De manera análoga a la regulación anterior, se plantea en un primer momento utilizar el tornillo existente en la regulación X del producto de referencia. De esta manera, para la realización de esta regulación, únicamente sería necesario adquirir 1 de estos 2 tornillos sin fin necesarios para ambas rotaciones en el eje X e Y. Este tornillo sin fin fue adquirido en su momento por el mismo suministrador industrial NORELEM, con la referencia 22500-311020, en la ilustración 91 y en la tabla 13 se muestran sus características.

Con estas especificaciones y características, se tratará de calcular y diseñar las dos ruedas helicoidales necesarias para realizar las rotaciones, para ello, nos servirá las ecuaciones 1, 2, 3 y 4:

Ecuación 1: Cálculo de distancia entre centros

$$Cd = (Dp + dp)/2$$

Nota: Donde Cd, corresponde con distancia entre centro; Dp, diámetro primitivo del engranaje helicoidal y dp diámetro primitivo del tornillo sin fin.

Ecuación 2: Cálculo del paso del engranaje

$$P = \pi \cdot M$$

Nota: Se muestra la ecuación para obtener el paso del engranaje sabiendo el módulo de este. Siendo P el paso y M el módulo.

Ecuación 3: Cálculo de Anchura de rueda helicoidal

$$A = 6 + 2,38 \cdot P$$

Nota: Se muestra la ecuación para obtener el ancho de la rueda helicoidal. Siendo A el ancho de la rueda helicoidal y P el paso.

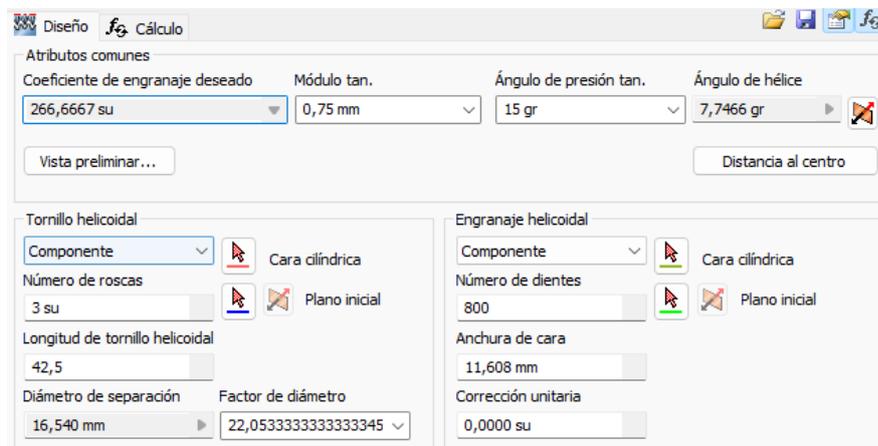
Ecuación 4: Cálculo de numero de dientes

$$Dp = M \cdot N$$

Nota: Se muestra la ecuación para obtener el número de dientes sabiendo el módulo y el diámetro primitivo. Siendo D_p el diámetro primitivo; M el módulo y N el número de dientes

Con estas 4 ecuaciones, sabiendo el módulo del tornillo sin fin y el diámetro primitivo de la rueda helicoidal, se obtiene una distancia de centros de 308,27 mm, un ancho de rueda de 11,608 mm, un paso de 2,3562 y 800 dientes. Con lo que quedarían definidos todos los parámetros para realizar el diseño de la rueda helicoidal del eje X, como se muestra en la ilustración 49, con los parámetros requeridos por dicho programa en su interfaz (Help, 2021).

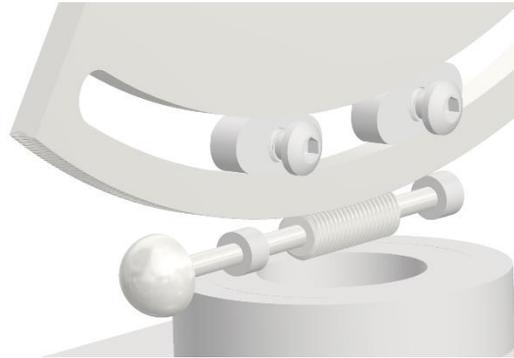
Ilustración 49: Interfaz de diseño de ruedas helicoidales



Nota: Se muestran los parámetros introducidos dentro del programa para obtener esta rueda helicoidal deseada. Imagen obtenida por el programa Inventor ya mencionado (Help, 2021).

De la misma manera se ha calculado la rueda helicoidal del eje Y, con un diámetro primitivo de 450 mm, un número de dientes de 600, 233,27 mm de distancia entre centros y la misma anchura de engranaje y mismo paso que la rueda helicoidal anterior. Con esto, quedan definidas las ruedas helicoidales y tornillos sin fin, donde los primeros serían impresos. Ahora faltaría fijar los tornillos y las ruedas helicoidales en el lugar exacto y añadir los diversos elementos de fijación. En cuanto a la rueda helicoidal, se fijará a través de las paredes del elemento Rotación Eje Z y unos pasadores, que se han modificado, para que no sean únicamente unos cilindros, sino que tenga la forma de circunferencias concéntricas con el eje de rotación de la rueda. Estos pasadores se fijarían con tornillería, esta transmisión se puede ver en la ilustración 50. El diseño formal de estos componentes quedaría realizado, a falta de realizar la regulación de altura de la plataforma en el eje Z, y el diseño formal del grado de libertad añadido.

Ilustración 50: Transmisión Rotación eje X



Nota: Se muestra en la imagen la transmisión del eje X, explicada anteriormente y similar a la diseñada en el eje Y. Con los siguientes componentes: Eje, rodamientos, tornillo sin fin, rueda helicoidal, pasadores y tornillería, a falta de ver el elemento Rotación Z. Imagen obtenida del diseño formal realizado, ocultando la visión de la pieza Rotación Z.

Regulación Altura Plataforma de Apoyo. Respecto a esta regulación, se ha decido y elegido incorporar una plataforma de elevación acorde a las medidas de regulación. Ya que, la otra opción de realizar este desplazamiento a través de tornillos unidos a la base de apoyo, se ha considerado que es inviable debido a que en las impresoras se utiliza este sistema para una regulación muy precisa y de poca variación por tanto en este caso, se tendría que roscar el tornillo muchas vueltas, a parte que tendría que soportar cargas equivalentes a un pie humano, en sus extremos de base, lo que supondría una gran dificultad a desarrollar la regulación. Por ello, se incorpora al diseño desarrollado una plataforma de regulación de altura entre 20 y 80 mm, se mostrará en las imágenes, como la ilustración 51, en altura máxima, suponiendo el pie más pequeño a analizar.

Rotación Eje Y (Antepié). Dentro del desarrollo de este diseño formal, el mayor cambio respecto al concepto ha sido este componente del producto, ya que se ha considerado inviable la realización de la idea conceptual anterior, ya que incorporar ejes, rodamientos o demás componentes en una plataforma de espesor 10mm. Además de la problemática encontrada y analizada con anterioridad al realizar esta rotación a través de engranajes y no poder fijar de manera correcta las rotaciones ni soportar fuerzas.

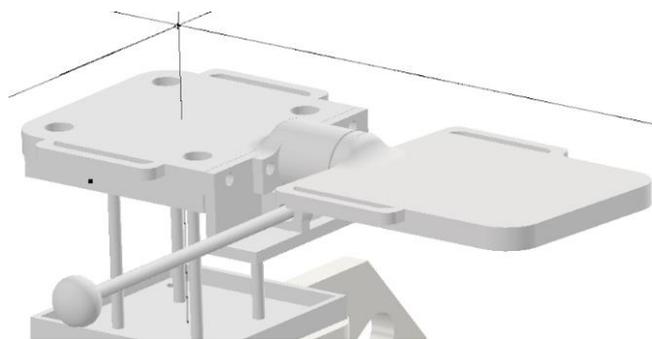
El diseño que se ha pensado es tratar de incorporar la metodología de tornillos sin fin a esta rotación. Por lo que se colocará un tornillo sin fin para girar la plataforma, de dimensiones vistas en el apartado de medidas antropométricas. Este diseño partirá de una plataforma de apoyo del retropié, sobre la cual se fijará la base donde se colocará el eje y también se fijará a esta plataforma base, la tapa de la rueda helicoidal, la cual será la encargada de alojar el eje que transmitirá el movimiento de esta rotación de la rueda helicoidal a la plataforma del antepié. Por tanto, podemos resumir las piezas necesarias en

plataforma de apoyo retropié, plataforma de apoyo antepié, tapa de sujeción antepié, base del tornillo sin fin, eje tornillo sin fin, eje rueda helicoidal, rodamientos, tornillería necesaria y las bridas o sujeciones del pie unidas a ambas plataformas.

Se describe a continuación el tornillo sin fin, de referencia 22500-171007, y la rueda helicoidal 22500-171007. Se han elegido estos elementos, por ser los elementos de menor distancia entre ejes existentes en la oferta de producto de este suministrador industrial, y se considera que con esta distancia entre ejes de 17 mm encajaría con las medidas existentes en el diseño. Dentro de los conjuntos de ruedas helicoidales de 17 mm de distancia de ejes, se ha elegido específicamente este tornillo y rueda debido a tener una relación de transmisión acorde a las necesidades y un módulo de engranajes adecuado a lo requerido por el diseño. Por ello, en la ilustración 92 y tabla 14 se muestran estas medidas que influirán a los demás componentes como ejes, rodamientos y demás, dentro de esta regulación de rotación del eje Y de la parte del antepié ya explicada

Ahora queda de ver y mostrar todos los elementos mencionados en cuanto a plataformas, sujeciones, ejes, tapas y demás. Estas se podrán observar en la ilustración 56. Donde se puede observar la existencia de todos estos componentes mencionados, a falta de incorporar la tornillería pertinente y los elementos ocultos, como el conjunto de rueda helicoidal mostrado anteriormente.

Ilustración 51: Diseño formal rotación eje Y Antepié



Nota: Se muestra la solución en base a este aspecto sobre la rotación del movimiento eversión-inversión que ocurre en el antepié, con todos los elementos prácticamente definidos y reflejados gráficamente en esta ilustración. Imagen de obtención propia.

Sobre esta solución, quedaría comprobar que existe la posibilidad de tener el saliente que se ha diseñado para no tener que bajar el tornillo sin fin, o por el contrario este saliente es inviable para fijar y regular el pie y hacer los respectivos usuarios y debe ser modificada, es un aspecto que se debatirá y analizará posteriormente, con los demás compañeros y profesionales que

están involucrados. Para debatir y mejorar este diseño en la medida de lo posible.

Despiece Completo. Por todas estas partes del diseño formal y completando el mismo a través de la estructura diseñada anteriormente, se han realizado diversos despieces y presentaciones del producto, para poder presentar dicho producto a los diversos profesionales y pensando en, posteriormente, realizar los diversos pedidos necesarios para la fabricación del producto. De esta manera, se muestra en las tablas 15, 16, 17 y 18, incluidas en el anexo de tablas, el despiece de la estructura; el despiece de la rotación del eje Z; el despiece de la rotación del eje X y eje Y, y la regulación de la plataforma en el eje Z, así como la sujeción del usuario respectivamente. Dentro de estas tablas se podrán ver cantidades de elementos, descripciones y procesos de fabricación, a este nivel de desarrollo. También, como se ha explicado, servirá de soporte para discutir, compartir y debatir la solución desarrollada de manera precisa. Estos números de referencia de las tablas anteriormente mencionadas se pueden consultar en los planos de vista de conjunto del producto formal diseñado, a continuación, en estas ilustraciones número 52 y 53.

Ilustración 52: Vista de conjunto de componentes del producto y estructura

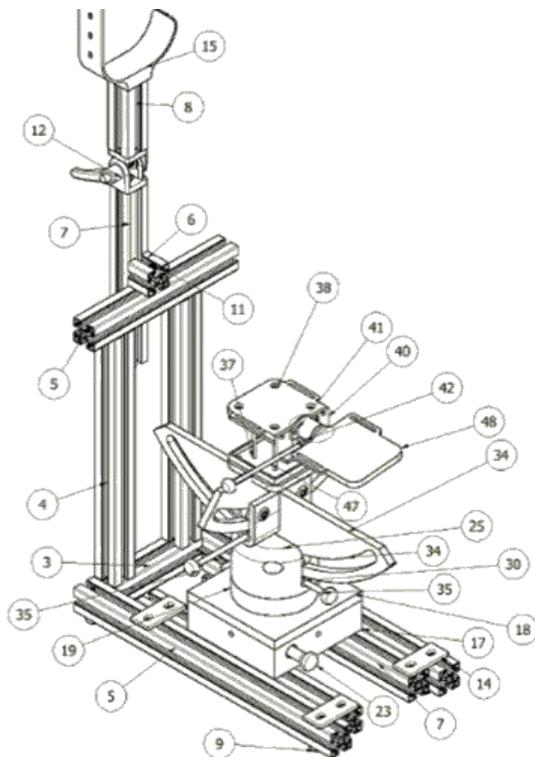
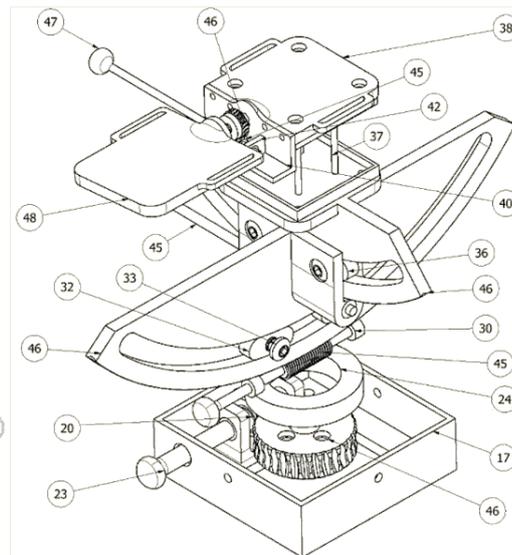


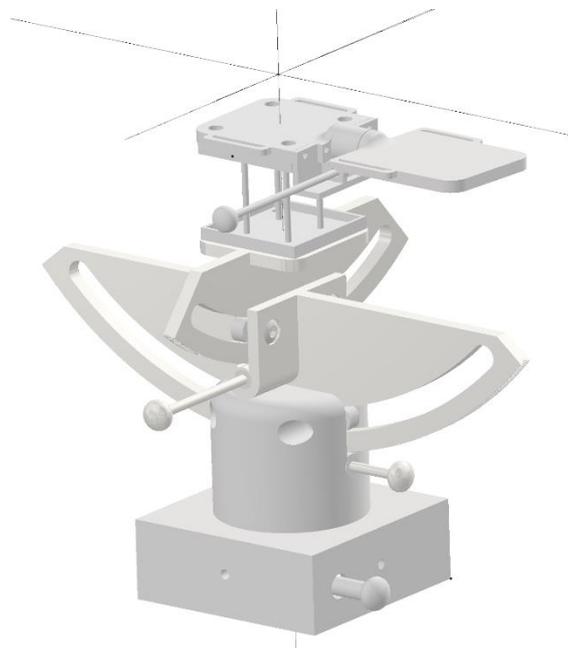
Ilustración 53: Vista de conjunto de componentes del producto e interior



Nota: Se muestran las vistas de conjunto, así como los números de elemento para hacer coincidir con las tablas mencionadas, Imagen de realización propia a través de programas de diseño 3D y realización de planos de conjunto

Esta propuesta es la que se ha presentado en primera instancia para la revisión por parte de un especialista ortopeda, para quien está destinado este producto y quien ha requerido este rediseño para facilitar su trabajo, análisis y ejecución, la cual, también se puede visualizar en la ilustración 54, donde se puede observar de manera más visible, todos los cambios y componentes mencionados dentro del producto, al haber utilizado la misma estructura diseñada en el diseño conceptual, con alguna modificación para la viabilidad del diseño. Por ello, a través de presentaciones de estos diseños de conjunto, producirá un ciclo de mejora del producto, para rematar una solución más sólida y adecuada para este estudio a realizar.

Ilustración 54: Diseño Formal del producto



Nota: En la ilustración anterior, se puede ver el diseño de producto en conjunto, a falta de la estructura y demás elementos que se pueden observar en las tablas mencionadas

Evaluación de la Solución

En cuanto a la evaluación de la solución, se ha tratado de evaluar de manera anterior a recibir información externa, para aprender a realizar una autoevaluación, ser crítico con la solución realizada y analizar personalmente el diseño realizado. Por lo tanto, en este apartado se analizarán ángulos máximos de las rotaciones realizadas. Desplazamientos máximos de las regulaciones creadas y demás aspectos observados, comparando con las especificaciones y objetivos del diseño vistas anteriormente. Así, se recordarán los objetivos y se mantendrán en cuenta, para que los objetivos no se vayan olvidando con el transcurso del desarrollo del proyecto.

Rotaciones Efectivas. Dentro de las rotaciones realizadas, hay que analizar, si el grado de rotación es adecuado al análisis ya que, si es excesivo, se estará diseñando y gastando más material para algo innecesario. Por el contrario, si se diseña por debajo de los grados necesarios, el profesional a la hora de realizar el diseño tendrá que utilizar calzos para aumentar ángulos, complicando en gran medida la realización del estudio. En la siguiente tabla número 8, se podrá observar los ángulos efectivos realizados en el diseño que se ha mostrado en la ilustración 54. Para la justificación, en un principio se ha tomado como referencia los ángulos realizados en el diseño de referencia (García Soler, 2021), por ello, se ha tratado de obtener valores de ángulos similares.

Tabla 8: Ángulos de rotación del Diseño Formal

Eje de rotación	Movimiento	Ángulo de rotación
X	Dorsiflexión	+33, 2°
	Plantar-flexión	-33, 2°
Y	Eversión	+20°
	Inversión	-20°
Y (antepié)	Eversión	+180°
	Inversión	-180°
Z	Abducción	+180°
	Aducción	-180°

Nota: En la tabla anterior se pueden ver los grados de rotación que puede llegar a realizar como máximo el diseño formal realizado. La tabla se ha obtenido, a través de manipular el archivo CAD del conjunto del diseño formal desarrollado.

En este momento, se han realizado valores máximos de rotación del pie humano, pero habría que acotar más este ángulo, para realizar un diseño igualmente útil y no tan aparatoso como el existente, al tener unas ruedas helicoidales de gran tamaño, haciendo referencia al ángulo de rueda construido que influye directamente con estos ángulos de rotación efectivos en el producto.

Distancias de Desplazamientos. De manera similar, en este apartado se han analizado los desplazamientos que realiza el producto, de forma efectiva. Por ello, en la tabla 9, se muestran desplazamiento que corresponde con los análisis realizados de altura de pantorrilla y altura de tobillo. Por lo que estas medidas deberán mantenerse invariables, al haberse analizado y fijado por el estado de la técnica a cerca de medidas y proporciones antropométricas. En cambio, la regulación de desplazamiento del producto en el eje Y, se ha diseñado para obtenerse 100 mm de diferencia de regulación, como se ha designado que sería un valor necesario y a la vez suficiente.

Tabla 9: Distancias de Desplazamientos Diseño Formal

Eje de desplazamiento	En función de:	Distancia de desplazamiento
Y	Distancia de sujeción a pantorrilla	0
		+100 mm
Z	Altura de pantorrilla	0
		+300 mm
Z(plataforma)	Altura de tobillo	0
		+6 mm

Nota: Se pueden ver en la tabla anterior las distancias de desplazamiento máximas desde un punto 0, respecto el cual sería el punto origen o de regulación 0. Todos los datos se han obtenido a través del archivo CAD, de la estructura y el producto.

Objetivos del Producto. Dentro de los objetivos del producto, es decir comparando el diseño formal con dichos objetivos, se puede ver un avance notable. Donde se observa haber realizado una solución aceptable a diversos objetivos, como en el caso de la implementación de un nuevo grado de libertad, también conseguir centrar el eje de giro del producto con el tobillo del usuario o la regulación de desplazamiento en el eje Y del producto. También hay que destacar otros objetivos que no se han cumplido o no se ha realizado, como mejorar la sujeción del usuario, al no haber desarrollado hasta este momento ninguna mejora de fijación o en otros objetivos como ser capaz de soportar fuerzas humanas o el método de escáner, los cuales han sido objetivos que se han tenido en mente, pero no se ha realizado ninguna innovación en estos ámbitos. Por tanto, en los siguientes apartados se analizará la respuesta por parte del profesional y por mi parte a este diseño, para poder tomar decisiones de la dirección en la cual trabajar, para seguir en el proceso de mejora continua hasta una solución mejor.

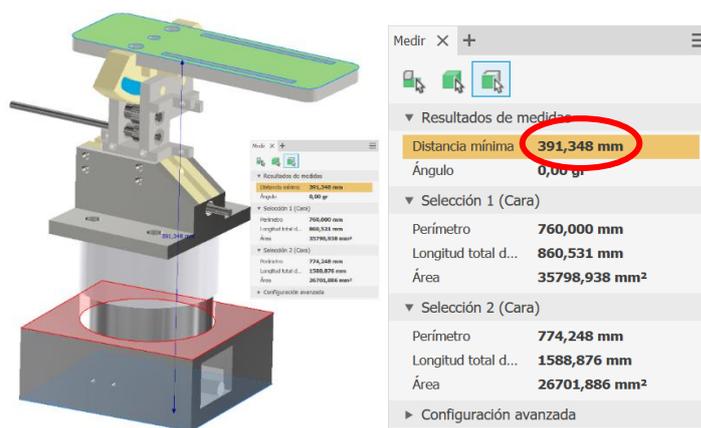
Retroalimentación y Mejoras

En este siguiente apartado, se comentarán los comentarios recibidos del propio ortopeda, el mismo que experimentó y utilizó el producto referencia realizado, y quién necesita de este rediseño para mejorar su estudio. En la exposición del proyecto, se debatieron múltiples necesidades y requerimientos que había observado. Por su parte, lo más destacado en la viabilidad de este diseño fue reducir el tamaño ya que con el producto actual, el usuario debía sentarse y posicionarse en un asiento muy elevado e incómodo, por lo que reducir el tamaño del producto sería imprescindible para el diseño; también se comentó que, con el producto existente, es muy difícil que las rotaciones se hagan efectivas desde el tobillo, centro de rotación del pie. En este apartado, se llegó a la conclusión que esto podía deberse a una mala sujeción y fijación de los

demás grados de libertad que no se vayan a estudiar o por no ajustar el centro del tobillo al centro de giro del pie, y también que la sujeción no debe realizarse desde la pantorrilla sino también desde el muslo para fijar completamente articulaciones como la rodilla. Por ello, se plantearon los siguientes puntos a mejorar en el producto, para obtener un producto con impacto real:

Reducción de la Altura del Producto de 100mm. Respecto a la altura del producto, se ha tratado anteriormente de reducir algún tamaño o altura no necesaria, pero no se ha planteado como objetivo inicial o como especificación fundamental del diseño, ya que únicamente había disminuido en 10mm. Por lo que, en el próximo diseño se tratará de reducir medidas, alturas, diámetros y demás medidas sin justificación que aporten altura al producto. En la ilustración 55 se podrá observar la altura del producto referencia, sin tener en cuenta la altura que da la estructura añadida, por lo que se plantea como objetivo que el producto a realizar tenga una altura aproximada de 300mm,

Ilustración 55: Altura producto referencia



Nota: En la imagen anterior y en su detalle, se puede observar la altura excesiva ya que, con una altura de 400 mm. Imagen de obtención y realización propia a través del CAD.

Sujeción de Muslo y Pantorrilla Simultáneamente. Para la realización de una correcta fijación, el profesional ortopeda ha determinado la necesidad de fijar a través del producto muslo y pantorrilla, ya que con el producto referencia, era el propio profesional quien manualmente fijaba de manera no muy correcta este muslo del usuario. Por lo tanto, se plantea realizar un cambio en el sistema de sujeción e implementar un sistema de sujeción simultáneo de pantorrilla y muslo, ya que todos los sólidos del conjunto estarían fijos salvo las rotaciones del tobillo y antepié. Esta sujeción diseñada se ha mostrado en la ilustración 42 y la sujeción existente se muestra en la ilustración 31.

Desplazamiento Eje Y Más Sencillo. Dentro de esta solución de desplazamiento de la estructura y producto en el eje Y, sí que se ha estado de acuerdo con los 100 mm de rotación posible y permitida por el producto, pero

se ha discrepado en la existencia de estos tornillos y uniones, que le restan maniobrabilidad, por lo que se plantea como objetivo mejorar esta unión para que sea mucho más accesible y sencillo realizar el desplazamiento, pero obviamente se fije de manera correcta. En la ilustración 56 se muestra un ejemplo de solución, aunque cualquier sistema parecido que realice el mismo efecto sería posible y válido.

Ilustración 56: Ejemplo empuñadura graduable



Nota: Se muestra un ejemplo de empuñadura graduable, similar al requerimiento planteado. Imagen obtenida por el catálogo de producto de Tecnodin (Tecnodin, 2020).

Grados de Rotación. En este caso, los grados de rotación se plantea reducirlos desde los grados vistos en el eje X, Y, de unos 30° aproximadamente a unos 15°. De tal manera que se reduzca material y espacio. Este cambio o requisito implementado nace en que según ha sido expresado por el profesional, en ningún momento se realizará estudios de ángulos, movimientos o deformaciones mayores a estos ángulos, debido a lo explicado anteriormente, de que estos estudios no llegarán o llevarán al pie al límite físico de los grados de libertad. Sí es cierto que, en ciertos casos puntuales se podrá llegar a tener que hacer estudio de un grado superior, pero que algo muy específico, por lo que es más viable realizar un producto para realizar la mayoría de los estudios, e incorporar zancos o productos que amplíen este grado de rotación en estos casos puntuales.

Plataforma de Apoyo Plana. Dentro de la plataforma de apoyo, se había realizado un diseño en el cual, se trataba de no rebajar en exceso el centro de rotación, para no interferir con otros componentes y no llegar a obtener interferencias o colisiones entre componentes, como se ha visto en la ilustración 51. Desde el punto de vista del profesional ortopeda y demás compañeros, se ha visto como un defecto claro de diseño a corregir, ya que en este saliente deberá ser fijado cualquier tipo de pie, por lo que dificultaría una fijación correcta, al existir en todo momento una superficie redondeada interfiriendo en el estudio y análisis. Por ello, se plantea como nuevo objetivo, reestudiar la solución realizada y rebajar esta rotación.

Con estos nuevos objetivos, se empieza a trabajar en la realización de una nueva mejora de diseño de conjunto. Tratando de seguir las metodologías de desarrollo de producto referenciadas anteriormente, yendo paso a paso, aplicando los conocimientos pertinentes, siempre tratando de realizar un análisis previo y tener una base técnica del proyecto en lo que fundamentar el proyecto final, como se ha explicado anteriormente.

Rediseños

Ante la necesidad de realizar y finalizar el proyecto, se debe encaminar hacia una solución final del proyecto, y a la realización del propio prototipo. No por necesidad de acelerar el proceso o necesidad de producción de este, sino por la necesidad de finalizar este proyecto encaminado, por tener obligación de tener que presentar dicho trabajo hasta el punto hasta el que se ha llegado y diseñado. Se plantea realizar las diversas mejoras comentadas con el ortopeda, proponiendo campos en los que trabajar en un posible futuro. El propio ortopeda, podrá obtener dicho producto, con todas las diversas mejoras, para en caso de ser requerido o necesario, continuar el estudio y ciclo de mejora continua de este producto, también analizando el campo de mejora posible con los recursos y tecnología disponible en ese momento. A continuación, se muestran las diversas mejoras que se han realizado sobre el diseño formal.

Reducción de Altura

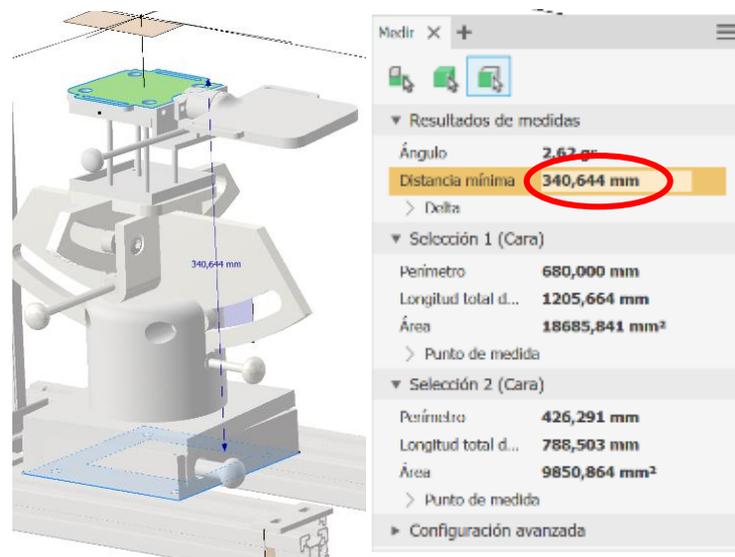
Esto se justifica por la necesidad de asegurar al usuario, de tal manera que, si el producto tiene una excesiva altura, esto repercutirá en la altura que se debe elevar el asiento del usuario, como se ha explicado con anterioridad. Esta es una modificación que engloba a todo el producto, por lo que para la realización de dicha modificación ha sido necesario rehacer todo el diseño formal anterior. Por ejemplo, se ha tratado de que en el cajón base, donde está incluido el conjunto de rueda helicoidal que realiza la rotación del eje Z se coloque en el punto más bajo, así como que la tapa se coloque de distinta manera, para ocupar el mínimo espacio posibles, así como, colocar los ejes de rotación X, Y, a la distancia más baja posible, y reduciendo los diámetros primitivos. De tal manera, que no existan huecos o piezas sobrantes sin justificación y necesidad funcional.

Entre estos cambios, se puede destacar, en los cálculos de las ruedas helicoidales. La rueda helicoidal del eje X pasará de tener un diámetro primitivo de 600 a 519,75 mm; de 800 a 693 dientes y de 308,27 a 268,145 mm de

distancia entre centros. La rueda helicoidal del eje Y pasará de 450 a 369,75 mm de diámetro primitivo; de 600 a 493 dientes y de 233,27 a 193,144 mm de distancia entre ejes. Estas piezas impresas, podrán verse sus especificaciones en los planos de rueda helicoidal eje X, eje Y, en los planos número 7 y 8.

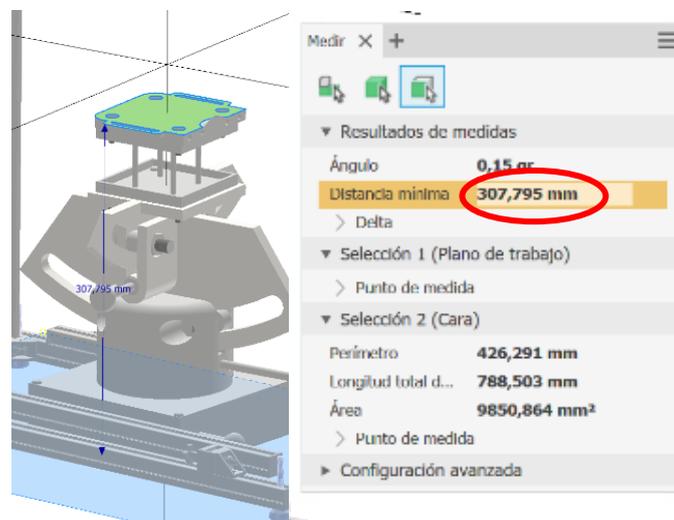
Entonces, tras rehacer prácticamente todo el proyecto, se muestra la solución y comparativa con la solución anterior. En la ilustración 57 se muestra el antes del diseño, con un total de 390 mm, un poco menos que la solución referencia, pero lejos del objetivo. En la ilustración 58 se muestra el nuevo diseño, con un total de distancia reducida de 83 mm.

Ilustración 57: Altura de Diseño Formal



Nota: Se muestra en la ilustración anterior la distancia total desde la plataforma de apoyo del paciente, hasta la base del producto. Imagen de obtención propia.

Ilustración 58: Altura de Rediseño



Nota: Se muestra en la imagen anterior, la medida efectiva entre la plataforma de apoyo del usuario y el propio suelo. Imagen de obtención propia a través de la medición del CAD.

Por tanto, este gran cambio y rediseño, se considera la mayor parte del producto comprobada y preparada para realización de pedidos, pedir ofertas, empezar a imprimir componentes o demás pasos posteriores, para realizar el prototipo. Sobre elementos normalizados se han seguido utilizando los mismos, únicamente ha cambiado la estructura unida al producto, y piezas que irán impresas, que vendrán especificadas en el anexo de planos. Que tras este paso desarrollado y comprobación se consideran acordes a las necesidades.

Sujeción Muslo y Pantorrilla

Se plantea una solución para poder fijar el muslo y la pantorrilla de manera fácil y simultánea, ayudándonos de la rótula de la rodilla, realizaremos un soporte de muslo y pantorrilla a 90°, sobre donde existen unos agujeros, para incorporar correas de sujeción. Así, se podrá asegurar y fijar los grados de libertad que no van a ser estudiados, para que únicamente se realicen las rotaciones en el tobillo determinadas. Esta sujeción se basa en tener la forma máxima de una pantorrilla y muslo, a través de una superficie de diámetro especificado por este diámetro máximo de muslo y pantorrilla. Todo esto explicado, se puede observar en la siguiente ilustración número 59.

Ilustración 59: Sujeción pantorrilla-muslo



Nota: En la ilustración anterior se muestra la sujeción simultánea de pantorrilla y muslo, en la parte superior se sujetará el muslo, en la parte lateral se sujetará la pantorrilla. Esta imagen es de obtención propia debido al desarrollo CAD.

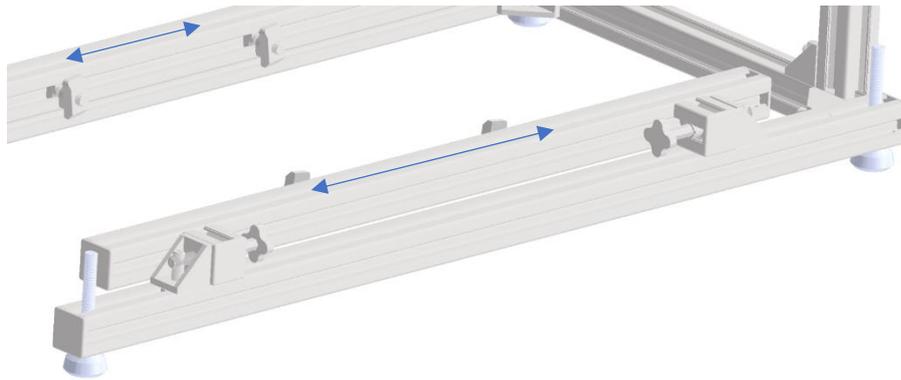
Con esta modificación, como se puede observar en la ilustración anterior, también se ha modificado la sección de perfiles, desde los perfiles de sección 40x40, a los actuales de 20x20, serían perfiles más livianos y más manejable.

Por ello, en la próxima ilustración de número 60, se puede observar este cambio de sección.

Desplazamiento Eje Y

Este cambio se basa en la regulación del producto ya que, para ahorrar espacio, se ha cambiado, que el producto no se atornillará a la base del producto, sino al lateral de este, por lo que la base del producto podrá estar a una distancia menor al suelo, que teniendo un perfil entre medias. Con este cambio, se han hecho los cambios correspondientes para hacer posible la regulación pensada. La base de la estructura seguirá siendo 3 perfiles, con ellos, aflojando o atornillando los conectores paralelos se podrá cambiar la posición en el eje Y de este perfil, el cual estará unido al producto a través de tornillería. Todos estos aspectos se pueden observar en la imagen 60 a continuación.

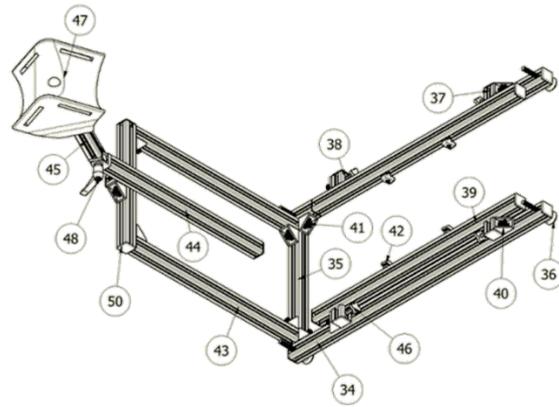
Ilustración 60: Rediseño Regulación Eje Y



Nota: En la imagen anterior se pueden ver todos los componentes explicados, y con toda la tornillería que se detallará posteriormente. Imagen de realización propia a través de programas de desarrollo de piezas y conjuntos 3D

Con todos estos elementos de desplazamiento en el eje Y, y la sujeción de la pantorrilla quedaría definida esta estructura desarrollada, con toda la tornillería pertinente. Por ello, se ofrecen diversos elementos gráficos como la tabla 19 en el anexo de tablas. También, se puede observar en la ilustración 61, la solución en conjunto con el producto desarrollado en este rediseño.

Ilustración 61: Despiece Estructura Primer Rediseño



Nota: En la imagen anterior, se ha podido observar los diversos componentes necesarios para realizar la estructura mejorada. Imagen de realización propia a través de realización de planos en programas de diseño CAD.

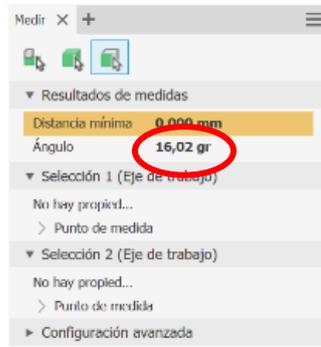
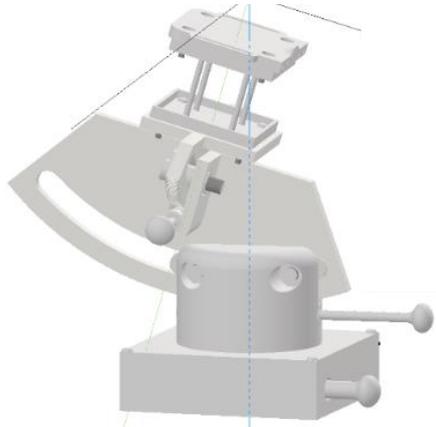
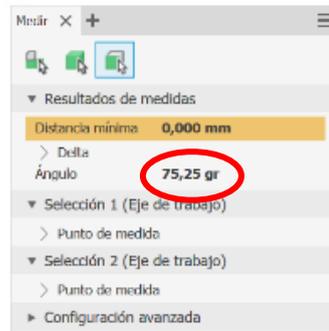
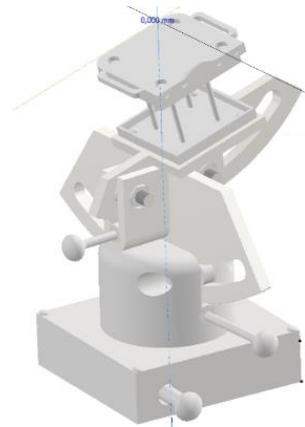
Grados de Rotación

Se ha determinado que los usos de ángulos en la rotación del eje X, Y, correspondientes a los movimientos de Dorsiflexión-Plantar-flexión y Eversión-Inversión, es de 15° como máximo, al ser únicamente en casos extremos y aislados donde se llegará a ángulos superiores. Estos cambios repercuten en el ángulo del engranaje que se imprimirá, por tanto, dicho ángulo se ha reducido hasta obtener estos $\pm 15^\circ$ en las rotaciones, es decir la rotación del eje X, correspondiente al movimiento Dorsiflexión-Plantar flexión y la rotación del eje Y, que corresponde con el movimiento Eversión-Inversión. A continuación, en la tabla 10, se pueden ver la relación entre movimientos y ángulos máximos obtenidos. Además de mostrar en la ilustración 62 y 63, la situación de ángulo máximo y su medición.

Tabla 10: Ángulos de rotación Rediseño

Eje de rotación	Movimiento	Ángulo de rotación
X	Dorsiflexión	$+16,02^\circ$
	Plantar-flexión	$-16,02^\circ$
Y	Eversión	$+14,75^\circ$
	Inversión	$-14,75^\circ$
Y (antepié)	Eversión	$+180^\circ$
	Inversión	-180°
Z	Abducción	$+180^\circ$
	Aducción	-180°

Nota: En la tabla anterior, se muestran cada uno de los movimientos y su ángulo máximo de rotación, en ambos sentidos. Tabla de obtención propia.

Ilustración 62: Ángulo Rotación Eje X
RediseñoIlustración 63: Ángulo Rotación Eje Y
Rediseño

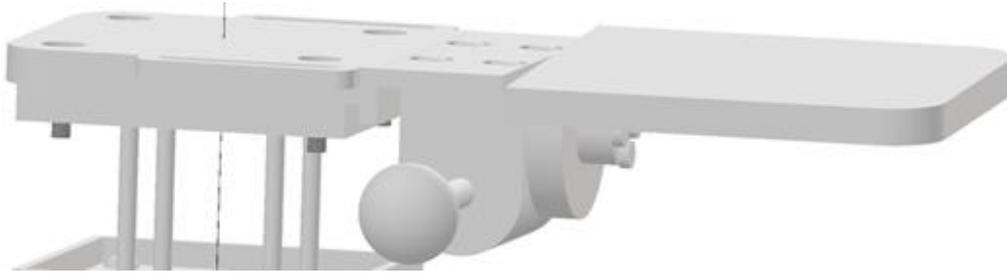
Nota: En las dos imágenes anteriores se muestran el comportamiento de las rotaciones en el eje X, Y. Así como el ángulo máximo de rotación. Imágenes de desarrollo propio.

Con esta modificación del ángulo se modifican estas ruedas helicoidales, y quedarán definidas para ser impresas, con lo que se podrían realizar pasos posteriores para seguir definiendo el proyecto.

Plataforma Continua de Apoyo

En esta mejora a realizar, se basa en bajar de posición los ejes, ya que los demás componentes, como ejes o rodamientos, se considerarán ya definidos. Por tanto, esta modificación tratará de asegurar una plataforma plana de apoyo del pie humano, y permitiendo obviamente la rotación respecto el eje Y proyectado sobre la plataforma, así sea efectiva la rotación al pie humano respecto este antepié. El mecanismo de regulación a través de conjuntos de ruedas helicoidales será el mismo al especificado anteriormente. Este cambio se puede observar comparando la ilustración 51, con la siguiente ilustración número 64.

Ilustración 64: Rediseño Regulación Eje Y Antepié



Nota: Se muestra en la imagen anterior el rediseño realizado, donde se puede observar una tapa plana. Imagen de diseño propio a través del desarrollo del rediseño mencionado.

De esta manera, se puede observar en la tabla 20, el despiece total de este rediseño realizado, de manera totalmente definida para la producción y desarrollo del prototipo pensado hasta el momento. Por ello, también se muestra en las ilustraciones 65, 66 y 67 dicho producto.

Ilustración 65: Vista isométrica producto rediseñado

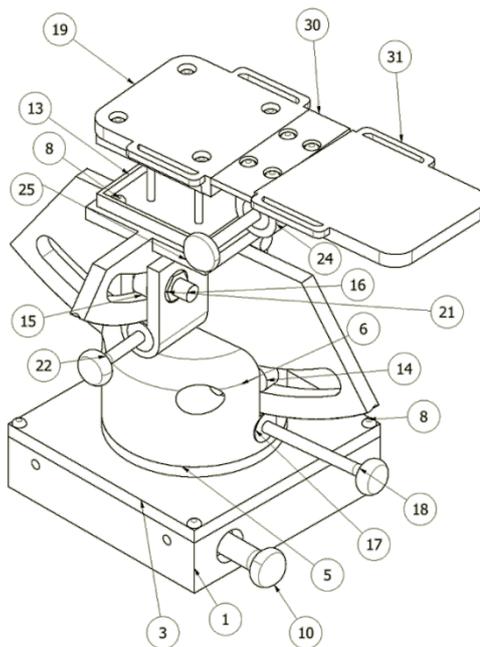
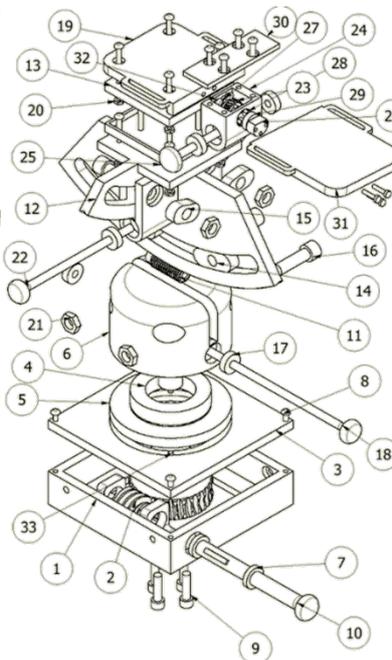
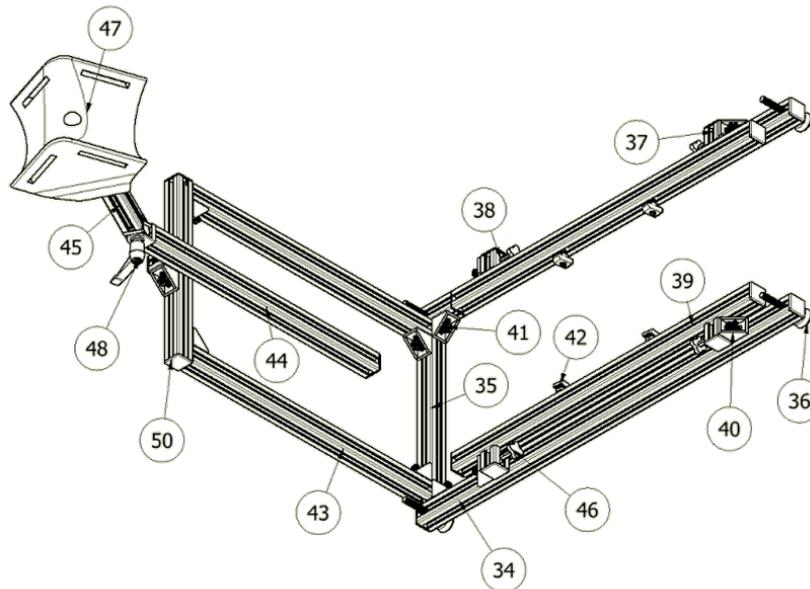


Ilustración 66: Vista explosionada producto rediseñado



Nota: Se muestra en las imágenes anteriores, el producto con las mejoras realizadas, los números de pieza coincidirán con los de las tablas de despiece de producto mencionadas acorde a este diseño: Imágenes de fuente propia.

Ilustración 67: Vista isométrica de la estructura rediseñada

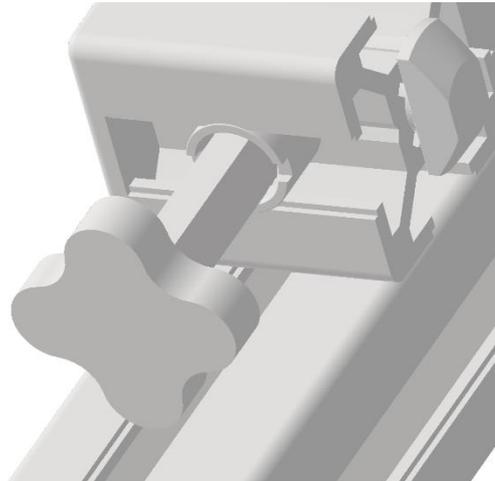


Nota: En la ilustración anterior se muestra la estructura realizada hasta el momento en este rediseño. Imagen de desarrollo propio a través de ensamblajes.

Mejora de Sujeción

Por último, se ha pensado en la realización de unas últimas mejoras, con las que se ha cerrado el diseño. En el caso de la estructura, se ha visto inviable realizar este diseño con perfilería de sección 20x20 mm, debido a sus menores características y de medidas inferiores, por lo que la estructura perdería estabilidad y consistencia. Por tanto, la última modificación o rediseño a realizar será el cambio de perfilería 20x20 mm a una perfilería de sección 40x40. De esta manera, también se ha tratado de pensar en unas empuñaduras graduables a realizar y designar, para facilitar estas regulaciones, aparte de realizar el cambio anterior mencionado. Este cambio, se puede visualizar en la ilustración 68, donde se ve un ejemplo de empuñadura graduable. De tal manera que se pueda girar dicha empuñadura aflojar el tornillo de unión, realizar la regulación necesaria para el usuario o paciente y posteriormente, apretar dicho tornillo y dejar esta unión efectiva.

Ilustración 68: Empuñadura graduable diseñada

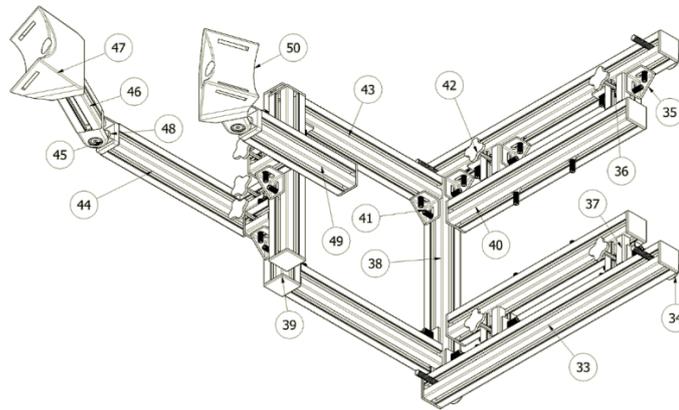


Nota: Se muestra la empuñadura graduable diseñada para mejorar la sujeción de los usuarios y facilitando las regulaciones existentes. Imagen de obtención propia.

Con esta empuñadura graduable y la vista anteriormente en la ilustración 61, se decidirá en el diseño final, ya que estas empuñaduras graduables, no encajarían con el diseño del conector de cabeza redonda, y esta empuñadura, sí que podría encajar con el conector al tener la forma de una llave Allen, como es necesario para accionar este conector mencionado. Por ello, se estudiará las diversas opciones posibles, para realizar un diseño de empuñadura fácil de manipular.

En el caso de la regulación del producto en el eje Y, se ha mantenido, la misma mecánica, de perfiles de longitud menor, fijos a la estructura, respecto los cuales se colocarán los diversos conectores de cabeza redonda, al fijarlos o desfijarlos con las empuñaduras, se podrá realizar esta regulación y fijación de posición del producto. En el caso de la regulación en el eje Z de la fijación de muslo y pantorrilla, se ha desarrollado una nueva mejora, ya que posibles usuarios pueden tener un desalineamiento de la rodilla, se ha planteado, dividir la sujeción de muslo-pantorrilla, en una sujeción de muslo en la parte posterior y una sujeción de la pantorrilla en la parte anterior. La sujeción del muslo graduará su altura en el eje Z, mientras la sujeción de pantorrilla pueda graduar su altura en el eje Z y posición en el eje X, esta última en caso de este posible desalineamiento de la pierna. En estos casos, se ajustará la pantorrilla donde se encuentre, y se tratará de mover en este eje X la pantorrilla hasta alinear en el eje Y, muslo, pantorrilla y pie. Esta solución se puede observar en la ilustración 69, donde se muestra también como se ha dividido la pieza donde incorporar cinchas para fijar la pantorrilla y muslo, en esas dos piezas 47 y 50, que corresponden con sujeciones distintas de muslo y pantorrilla, con medidas acordes a los valores máximos de muslo y pantorrilla supuestos.

Ilustración 69: Estructura final requerida



Nota: En la imagen anterior se muestra la estructura final del producto, que se realizará para probar el propio producto completo sobre los diversos usuarios. Imagen de realización propia.

Con todos estos elementos, queda definido el desarrollo del diseño, pasando de este proceso de diseño a verdaderamente el desarrollo de producto, con lo que completar el trabajo realizado.

Diseño final

En este apartado, se tratará de resumir en general el proyecto para, a fin de cuentas, expresar todo el conjunto del proyecto y la consecución del trabajo total en este diseño final completado. Tratando de hacer referencia a partes del proyecto que han servido para obtener este resultado, así como las especificaciones del diseño, las mejoras con respecto a otros productos, analizando todos los componentes y el modo de suministros, entre otros puntos a desarrollar y tener en cuenta.

Especificaciones del Diseño

El diseño final realizado deberá tener los siguientes componentes, reflejados en la tabla 21, donde se encuentra el despiece total del producto diseñado. En esta tabla se muestran todos los componentes, además del número designado a ambas, para correlacionar tablas de despiece con vistas de despieces o demás. A continuación, se relatan las características finales del producto que serán realizadas a través del montaje de los diversos componentes.

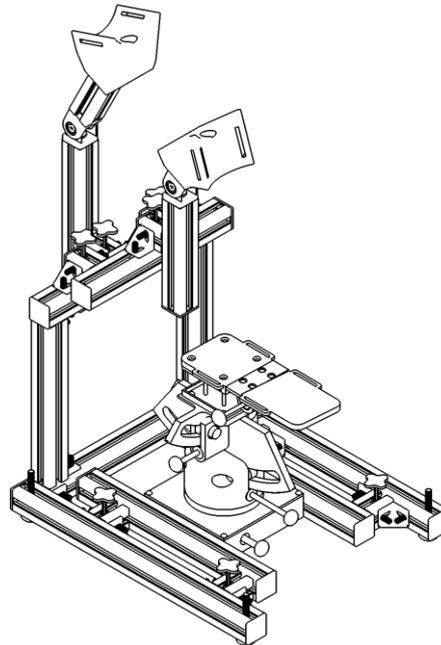
Como se ha explicado anteriormente en la última mejora realizada, el producto parte de una estructura base de 3 perfiles, sobre la cual se fijan y regulan dos componentes, por un lado, existe una estructura para fijar pantorrilla y muslo,



la cual se podrá regular la sujeción del muslo en su posición en el eje Z, mientras la sujeción se podrá regular, en el eje X, Z, por otro lado, esta estructura base fijará también una regulación en el eje Y del producto. Esas son las funcionalidades implementadas a la estructura. Con ello, el producto, quedaría fijado, y también la pierna del usuario.

Desde el punto de vista del producto, su posición en el eje Z, X, estará fijo en todo momento, salvo la plataforma con esa regulación existente a través de la plataforma de elevación. Se podrá posicionar la posición del producto en el eje Y, y la posición de la plataforma en el eje Z, en cierta medida. El producto estará fijado y a él se fijará el usuario, a falta de realizar las 3 rotaciones respecto al tobillo y la rotación en el eje Y añadida en el antepié. Estas rotaciones se basan, como se ha visto durante el desarrollo del producto y del diseño, en tornillos sin fin en general. La rotación respecto el eje Z, se realiza a través de un conjunto de rueda helicoidal, el cual se podrá observar en los anexos de elementos normalizados, para hacer esta transmisión efectiva, se han utilizado componentes de unión, como rodamientos tornillería, eje y otros elementos impresos en 3D, como base, tapa o elemento de rotación. La rotación del eje X, Y, se realiza a través de tornillos sin fin adquiridos, y otros elementos de unión como rodamientos o ejes, los demás elementos, como ruedas helicoidales han sido diseñadas e imprimidas en 3D. En cuanto a la regulación de altura en el eje Z, se realiza a través de una plataforma de elevación entre la rueda helicoidal anterior del eje Y, y la plataforma de apoyo. Y, por último, el grado de libertad implementado en la estructura respecto el antepié, en el eje Y, consta de diversos componentes, para unir ambas plataformas del antepié y retropié, con los demás elementos para realizar la transmisión de movimiento en esta rotación. Todos estos aspectos desarrollados y explicados anteriormente se pueden ver gráficamente a través de la ilustración 70, donde siguiendo las explicaciones y los documentos gráficos y técnicos se pueden dejar determinados los elementos necesarios para la realización física del producto o en este caso el prototipo.

Ilustración 70: Especificaciones del Diseño



Nota: En la ilustración anterior se muestra el producto final. Imagen de desarrollo propio, como se ve durante todo el proyecto.

Comparación con Versiones Anteriores

En este apartado, se tratará de evaluar la solución desde un punto de vista externo al proyecto, para sacar el valor del mismo, gracias a comparar esta solución realizada con las soluciones anteriores. A continuación, se enumerarán y explicarán de manera general las mejoras que se han obtenido y tendrán impacto, gracias a la innovación realizada:

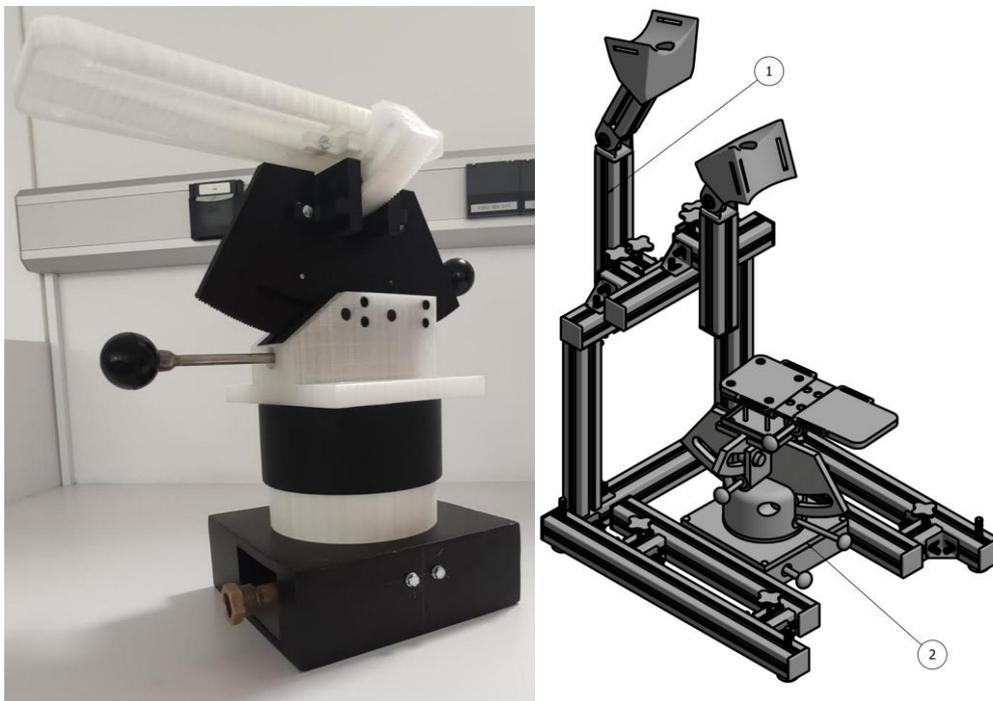
- A. Rotación respecto del tobillo del usuario: En diversos productos si existe esta regulación para asegurar la rotación respecto del tobillo del paciente, pero no en el producto de referencia.
- B. Rotación de todos los ejes a través de tornillos sin fin: Será capaz de soportar fuerzas del pie humano en mejor medida y de un valor más elevado ya que, en el producto referencia se realizaba con engranajes.
- C. Regulación de desplazamiento en el eje Y: Se podrá ajustar fácilmente a través de empuñaduras, la regulación de desplazamiento del producto respecto el eje Y, cosa, que no se plantea en ningún otro producto.
- D. Diseño más compacto y versátil: Comparando con el producto referencia, este diseño desarrollado tiene una altura $\frac{3}{4}$ veces menor. Por tanto, se obtiene una plataforma de apoyo a la mínima distancia posible desde el suelo.
- E. Ampliación de 1 grado de libertad: Se ha ampliado un grado de libertad en el antepié de los usuarios, para tratar de realizar un diseño y estudio

más acorde a la antropometría y funcionamiento del pie humano. Mejora la cual parte de O.

- F. Sujeción de muslo y pantorrilla: Se plantea una mejor solución de sujeción de muslo y pantorrilla, mejorando la regulación respecto eje Z, Y, y se incorpora una sujeción de muslo regulada en altura respecto el eje Z, el cual no se había planteado anteriormente.

Por ello, en la ilustración 71 se muestra la comparativa, entre el prototipo final del proyecto de referencia y el producto especificado y diseñado en este trabajo. El cual se realizará posteriormente un prototipo con estas especificaciones. También en la ilustración mencionada, se puede observar todas estas mejoras explicadas anteriormente.

Ilustración 71: Comparativa Producto Diseño Final



Nota: En la ilustración anterior se muestra la comparativa mencionada. Imagen de desarrollo propio con programas de desarrollo 3D y a través de la ilustración 6.

También, se podría comparar con los otros diseños o proyectos desarrollados que se han visto en la búsqueda de estado de la técnica, pero al ser proyectos externos e independientes, se ha considerado oportuno comparar específicamente con el proyecto de referencia. Con esto, se cierra la etapa de diseño y empieza la etapa de realización del prototipo, explicando todo el proceso de fabricación del prototipo, así como cambios que sufra el diseño para poder realizarse dicho prototipo.

Prototipo

En este apartado, se presentará el proceso de realización seguido para realizar este prototipo, desde la recepción de materiales o suministros externos; también, se describirá diversas pruebas realizadas para comprobar el funcionamiento correcto de diversos componentes; posteriormente, imprimir y realizar todas las piezas necesarias y, finalmente, realizar mecanizados necesarios, uniones pertinentes y soldaduras necesarias, para obtener el prototipo final.

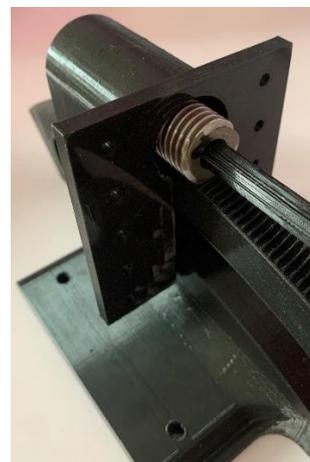
Comprobaciones realizadas

Se han realizado principalmente 3 pruebas previas a la realización, montaje y soldadura final del proyecto. se podrán ver en las siguientes ilustraciones, dichas pruebas realizadas. están pensadas para asegurar que las piezas entran dentro de las especificaciones, y no tener que repetir piezas o realizar un gasto innecesario de piezas soldadas y no tener que requerir piezas externas por un mal diseño. En primer lugar, se ha realizado una prueba de engrane entre la rueda helicoidal impresa y el tornillo sin fin, para asegurar que engrana de manera adecuada, no hay salto de dientes y que, por tanto, no se necesita una rueda helicoidal de mayor precisión, como se muestra en la ilustración 72. En segundo lugar, se han realizado 2 pruebas para asegurar que las distancias entre ejes son correctas, es decir que no hace falta acercar o alejar los ejes para que pueda avanzar el tornillo y la rueda helicoidal, esta prueba se ha realizado en la rotación del eje Y, como se muestra en la ilustración 73 y eje Y antepié. Con estas comprobaciones previas, se comienza a realizar, montar y unir el prototipo a realizar.

Ilustración 72: Prueba de engrane



Ilustración 73: Prueba de distancia entre centros eje Y



Nota: Se muestran las pruebas y comprobaciones previas realizadas, mostrando, que los ejes son correctos, al engranar los tonillos sin fin con sus respectivas ruedas helicoidales.

Imágenes de obtención propia a través de la fabricación de las piezas.

Con ello, ahora pasamos a fabricar el prototipo, este será un proceso el cual se fabricarán todas las piezas de impresión 3D, con parámetros determinados, como se especificará en el proceso de fabricación, todos los parámetros o explicaciones respecto este proceso se explicarán en este apartado posterior, con el cual asegurar las especificaciones de las piezas impresas respecto las especificaciones del diseño final desarrollado. Así como explicando la obtención de piezas normalizadas o suministradas de manera externa.

Fabricación

El proceso de fabricación es una de las partes fundamentales del producto, así como los planos y la especificación del producto, por ello, deberá quedar definido, para asegurar un proceso de fabricación correcto, que cumpla todas las especificaciones, y no exista desviaciones de medidas, holguras o juegos, entre distintos productos. Todo producto fabricado según este proceso tendrá que cumplir esas especificaciones explicadas. Por ello, a continuación, se muestran las diversas partes del proceso necesarias para la realización final del producto. En líneas generales, se basará en obtener las piezas especificadas en las especificaciones del diseño, a través de un proceso de suministro industrial e impresión 3D

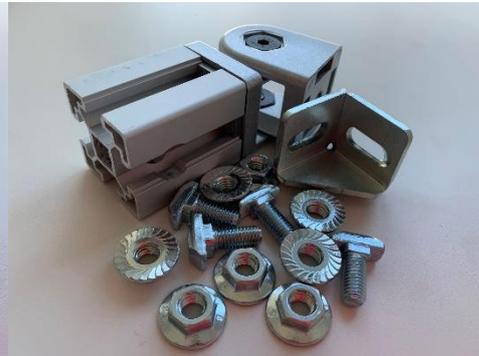
Suministros Externos

Como se ha explicado durante la realización del diseño, la mayoría de las piezas necesarias serán normalizadas, por tanto, obtenida de diversos suministradores industriales, a través de las tablas de elementos normalizados de FASTEN y NORELEM, tabla 22 y 23, se podrán observar los despieces de estos elementos adquiridos. Por ello, en la ilustración 74 y 75, se muestran dos imágenes, de parte de estos elementos que se han adquirido. En este caso, las piezas de NORELEM han sido patrocinadas por dicha empresa, pero en el caso de la realización del producto de manera industrial, se deberán obtener estos productos, al igual que los obtenidos por FASTEN.

Ilustración 74: Piezas normalizadas NORELEM



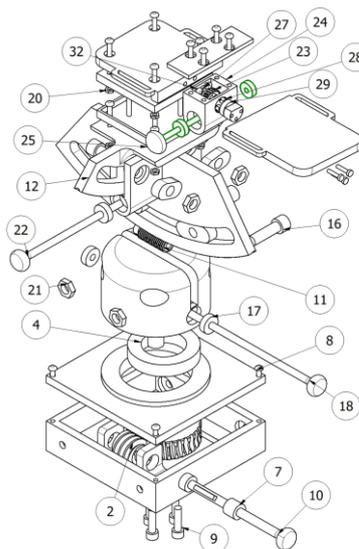
Ilustración 75: Piezas Normalizadas FASTEN



Nota: En la imágenes anteriores se muestra la caja de componentes recibida por NORELEM y FASTEN, con tornillería, rodamientos, conjuntos de rueda helicoidal, escuadras, perfiles, etc. como se ha podido ver en otros apartados, para realizar el montaje del producto. Imagen de obtención propia a través de NORELEM y FASTEN.

NORELEM. Como se ha podido observar tanto en el diseño final, el producto en sí, encargado de realizar las rotaciones respecto el tobillo de la persona y la rotación añadida en el antepié, está compuesto por múltiples piezas normalizadas, que han sido adquiridas en este suministrador industrial, que ha patrocinado el proyecto. En la ilustración 76 se pueden observar todos los componentes que han sido requeridos, con algún cambio realizado, que se ve en verde para la viabilidad de la solución y acorde con los elementos designados en la tabla 22.

Ilustración 76: Despiece elementos NORELEM



Nota: Se muestran los elementos normalizados patrocinados por NORELEM, que servirán para hacer efectivas las diversas rotaciones mencionadas. Imagen de obtención propia a través de la vista explosionada del CAD

Estos elementos normalizados, podrán verse designados en el anexo de elementos normalizados, donde se podrá observar sus especificaciones técnicas de diversos componentes precisos, como rodamientos, ruedas helicoidales o tornillos sin fin.

FASTEN. En cuanto a los componentes de la estructura, como ya se ha explicado anteriormente, se ha obtenido y realizado, a través del suministro de elementos normalizados por el catálogo de FASTEN (Sistemas, 2017). Como ya se ha explicado y se puede ver en la ilustración 75 y la tabla 23. Todos sus componentes específicos, así como referencias del catálogo mencionado. Con todos estos elementos adquiridos, y otros elementos impresos como se designa en el despiece, se ha fabricado el conjunto de la estructura, como se verá en el apartado de montaje del prototipo, sin necesidad de interferir en estas piezas normalizadas

Otros Suministros. El último elemento que se ha adquirido a otros suministradores externos es la plataforma elevadora, necesaria para ajustar la altura de la plataforma donde se posiciona el pie del usuario, en relación con hacer coincidir el centro de rotación del producto diseñado, con el centro de rotación del pie humano, es decir el tobillo. Se muestra en la ilustración 77 la plataforma adquirida con propiedades como regulación de altura entre 20 y 80 mm, acorde a la regulación de altura entre suelo y tobillo del espectro de usuarios necesario (Amazon, Gidenfly Plataforma elevadora, plataforma elevadora de laboratorio, 90 x 90 mm, de acero inoxidable, para router, elevadora, máquina de grabado láser pequeña, dispositivo de laboratorio, 2022).

Ilustración 77: Plataforma elevadora



Nota: Se muestra en la imagen la plataforma elevadora necesaria, que se unirá al resto del producto, que realiza las diversas rotaciones que han sido designadas. Imagen obtenida de la página web donde se ha obtenido

Impresión 3D

El resto de las piezas a realizar tal y como se designará en el anexo de planos, se han realizado mediante la tecnología de impresión 3D. La impresión 3D es un tipo de fabricación aditiva, la cual también se conoce como Additive Manufacturing y se basa en “el énfasis está en crear algo rápidamente y que el resultado sea un prototipo o modelo base del que se derivarán otros modelos y, finalmente, el producto final” (Gibson, Rosen, & Stucker, 2010). Por tanto, esta tecnología nos servirá totalmente para realizar el prototipo funcional, usarlo para realizar las diversas pruebas pertinentes, y en caso de ser conveniente, realizar un producto con tecnología de mayor precisión y obtener un producto acabado y final de mayor durabilidad y mejores características a las obtenidas con esta tecnología.

Por ello, se ha seguido un proceso de fabricación de dichas piezas realizadas a través de impresión 3D, para obtener este prototipo, según los propios principios y la forma de desarrollar el trabajo de esta tecnología de impresión 3D. Según el libro ya mencionado “AM implica una serie de pasos que pasan de la descripción virtual CAD a la pieza física resultante” (Gibson, Rosen, & Stucker, 2010). Siguiendo la metodología anterior, se han realizado las diversas piezas en 3D, partiendo del diseño CAD, con sus especificaciones. A continuación, el archivo CAD se transforma en archivo stl, para su tratamiento posterior en el software de impresión 3D. Este programa (Ultimaker Cura) permite modificar diversos parámetros de impresión, que sirven para transcribir la geometría en capas, espesores, rellenos, temperaturas, velocidades, movimientos, entre otros parámetros, para que la propia impresora entienda y desarrolle la impresión requerida, obteniendo así la pieza dentro de las especificaciones del diseño realizado. En la tabla 24, se pueden ver los diferentes parámetros genéricos realizados en este programa, aunque en diversas ocasiones, se han modificado, en caso de requerir soportes mayores, rellenos distintos, mayores paredes, u otras ocasiones, donde según la morfología de las piezas se ha visto necesario realizar los cambios pertinentes.

Una vez se han seleccionado los parámetros, y la pieza se ha dividido en las diferentes capas de impresión, se genera un archivo gcode. Este código es el que utiliza la impresora, con sus correspondientes coordenadas para realizar los diferentes movimientos que le permitan construir la pieza.

En este caso, se ha realizado con la impresora Creality Cr-10, la cual permite la fabricación de piezas en una cama de 300 x 300 mm de área, así como una altura de impresión de 400 mm, aproximadamente. Con otras propiedades como diámetro de boquilla del extrusor de 0,4 mm, esto influye en ciertos parámetros como altura o grosor de capa. Se puede ver en la ilustración 78, la interfaz del programa Ultimaker Cura mencionado anteriormente, en el que se

Para la correcta realización del conjunto de piezas se han tenido que realizar diversos cambios para asegurar la viabilidad de la solución y obviamente, asegurar el correcto funcionamiento del prototipo. Por ejemplo, en la ilustración 80 se muestra la división en dos colores de la rueda helicoidal del eje Y, para poderse fabricar desde el plano de rotación de esta rueda y poder tener esta superficie de plataforma donde se encuentra asegurada la plataforma de elevación. De manera similar se ha realizado con el eje X. Con estos cambios, se podrán realizar las piezas impresas y asegurar que dichas piezas impresas entran en las especificaciones del diseño final.

Ilustración 80: Rueda Helicoidal eje Y Impresa



Nota: En la ilustración anterior se muestra las piezas cambiadas dentro del diseño para adaptarse al proceso de fabricación. Este cambio, se puede observar en la rueda helicoidal X, Y. Imagen de obtención propia, a través de la impresión 3D de dichas piezas.

De esta manera, se puede observar como el diseño va tomando forma y se van fabricando los diversos componentes, según las especificaciones del diseño final y la tecnología de impresión 3D descrita anteriormente. También, en este proceso de impresión, se han tenido varios baches hasta obtener piezas funcionales definitivas, como por ejemplo fallos en medidas, es decir obtener medidas importantes o de encaje fuera de las especificaciones para su función y uso; u otros problemas relativos a la impresión que han afectado y dificultado el desarrollo correcto del proyecto, como subimpresión, ocurrida al imprimir menor cantidad de material que el necesario para realizar adecuadamente la adhesión entre las diversas capas y formar la pieza del conjunto. Por ello, estos problemas, se han solucionado, repitiendo piezas, con medidas correctas, realizando pruebas de impresión de dichas piezas o de la forma de imprimir, desmontando el extrusor de dicha impresora, para realizar diversas comprobaciones, para conseguir que extruya el material adecuadamente.

Así, tras un largo proceso se han obtenido todas las piezas impresas en 3D, con lo que se pasaría a realizar diversas comprobaciones y ajustes que verifiquen la viabilidad de la solución y la correcta fabricación de dichas piezas.

Mecanizado

Debido a la desviación de medidas producido por la tecnología de fabricación utilizada, es necesario añadir un proceso de aseguración, comprobación y verificación de estas medidas. De tal manera, que las piezas diseñadas sean creadas para obtener valores mayores, pudiendo realizar un rectificado o mecanizado de las misma para asegurarlas. Esta desviación entre medidas del CAD y del producto real se ha considerado de un error sistemático de +0,2 mm en ejes y -0,2 mm en agujeros, añadiendo una incertidumbre de medida de unos 0,1 mm debido a la dispersión o error aleatorio de la impresión.

Por tanto, se ha realizado un rectificado compulsivo de las diversas piezas, en aquellos lugares, donde fuera necesario, como agujeros, ajustes, y demás. Este paso del proceso no afectará a piezas obtenidas de manera comercial, al estar asegurada su valor de medida. Se ha usado para ello la Dremel Modelo 2050, además de lijas, limas o demás herramientas similares. Sobre todo, este paso sirve no tener que repetir la impresión de piezas y tener una gran precisión de medidas. Un ejemplo de este paso se puede observar en la ilustración 81, donde se muestran los agujeros de la base, como han sido rectificados para ajustar con los rodamientos pertinentes.

Ilustración 81: Rectificación de medidas



Nota: Se muestra en la imagen la pieza base impresa, donde se ha realizado mecanizado de dichos agujeros para encajar por presión los rodamientos del eje Z. En este caso se vio un problema inicial al obtener un agujero muy pequeño y rasgar la pieza donde encajarla.

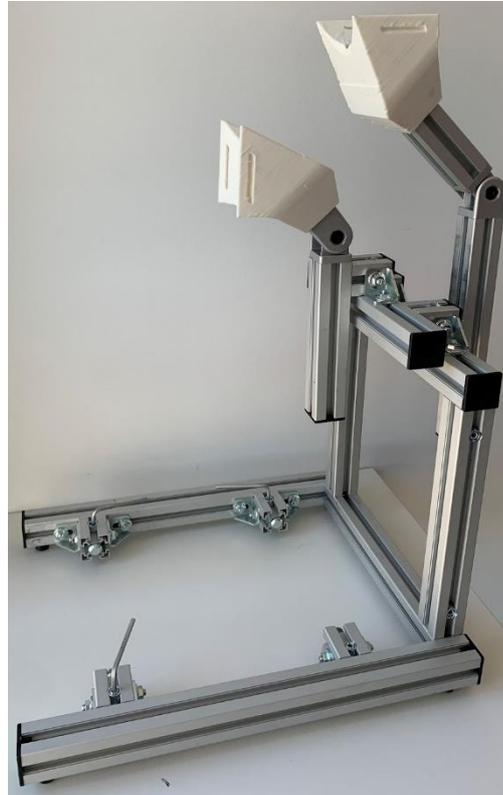
Imagen de obtención propia.

Montaje

En este paso, ya se han obtenido todas las piezas en su conjunto, acordes a las especificaciones del diseño final planteado. Por ello, se empieza a realizar el montaje tanto de la estructura, haciendo montaje partiendo de los pies base, hasta la regulación de muslo, como se ha especificado anteriormente. En primer lugar, se ha realizado el montaje de la estructura, principalmente con

piezas del suministrador FASTEN y piezas impresas, como se muestra en la ilustración 82.

Ilustración 82: Estructura montada



Nota: Se puede ver la estructura ya montada, con todas las últimas regulaciones designadas, tanto de sujeción de pantorrilla y muslo, como del propio producto. Faltaría la unión del producto a través de los 2 perfiles de 400 mm. Imagen de obtención propia.

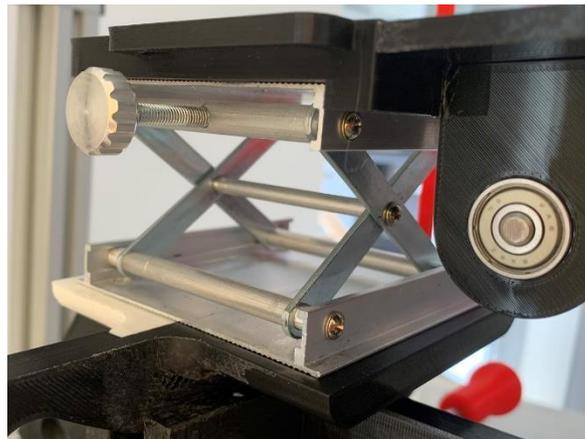
Una vez montada la estructura se comienza a montar la parte del producto posicionador. El sistema de funcionamiento de este producto ya ha sido explicado, donde a través de ejes, rodamientos fijos por presión, ruedas helicoidales, tornillos sin fin, tapas, plataformas y demás componentes, se consiguen las regulaciones requeridas. En la ilustración 83 se muestra una comprobación previa al montaje final del producto y al montaje final del prototipo. Con este paso, se da por finalizado el prototipo, con el que al unir todos los componentes quedará realizado, como se muestra en el apartado de prototipo final y se analizará y tomarán decisiones, según requiera. Dentro de este apartado de montaje se añade un sistema de montaje que corresponde a la soldadura y pegado, ya que debido al acabado de los diversos ejes y sin fines, no ha sido posible realizar agujeros pertinentes para la unión entre ejes y sin fines. Por ello, en este caso, así como en otros ha sido necesario añadir un proceso de pegado y soldadura, así se muestra el pegado de la plataforma elevadora a las piezas pertinentes, al ser imposible la unión atornillada en la ubicación planteada en un inicio, como se ve en la imagen 84.

Ilustración 83: Montaje del producto



Nota: Se muestra la comprobación de altura máxima. Paso previo a la realización del montaje del producto. Imagen de realización propia.

Ilustración 84: Pegado plataforma elevadora



Nota: Se muestra en imagen el pegado de 3 piezas con pegamento Loctite. También se ha utilizado Soldador eléctrico Target SI25N para la soldadura de diversos elementos. Imagen de obtención propia

Materiales y Propiedades

Desde el punto de vista de materiales utilizados, se designarán los materiales de los elementos normalizados en el anexo de elementos normalizados, mientras que en este apartado se analizará y se describirá el material usado para la mayoría de los elementos impresos en 3D. Este material utilizado es el PLA o ácido Poliláctico, según especifica la ficha técnica del material (3D, Version 1.1) “Filamento biodegradable y apto para todas las impresoras 3d”, Este material usado es en general de color TRUE BLACK de diámetro 1,75 mm,

apto para la impresora referenciada. Con una temperatura de impresión entre 200°C y 220°C. Con propiedades como ser reciclable y biocompatible entre otras, como así designa la empresa suministradora de este material, ya citada. Dentro de características del material, cabe destacar y nos interesa saber para su manipulación valores como, 1,24 g/cm³ de densidad, 60°C de temperatura de transición vítrea y 50 MPa de resistencia a la rotura. Estos valores nos servirían para interpretar funcionamiento y capacidades del material a la hora de comportarse el prototipo. En la ilustración 89 se muestra un ejemplo de las bobinas de filamento de PLA utilizadas, existen otras piezas realizadas con materiales similares por razones de reducción de tiempos de fabricación, mejora de la impresión o material disponible.

Ilustración 85: Bobina PLA



Nota: Se muestra la materia prima utilizada en la impresión 3D en la mayoría de las impresiones. Imagen obtenida a través del suministrador (3D, Version 1.1).

Prototipo Final

Tras este proceso se muestra en la ilustración 86 el prototipo obtenido. En este prototipo se han añadido diversos componentes visibles y útiles para el prototipo y sobre todo útiles para el estudio a realizar. Estos componentes son de señalización de ángulos. Por lo que no aportan una función directa al estudio, pero si una comprensión de los resultados que se realizan, así como una verificación de la correcta realización del ensayo. Estos componentes, son carteles y puntos de señalización rojos, con los que poder leer el ángulo que se está efectuando en los 4 movimientos que realiza; una señalización de centro de rotación, que servirá de paso previo al estudio para asegurar este centro con el tobillo del usuario y unas empuñaduras regulables. En la ilustración 87 se pueden observar estos elementos en detalle, aunque también en la ilustración 86.

Ilustración 86: Prototipo de diseño final



Nota: Se puede ver el prototipo realizado acorde al diseño final y sus especificaciones.
Imagen de realización propia.

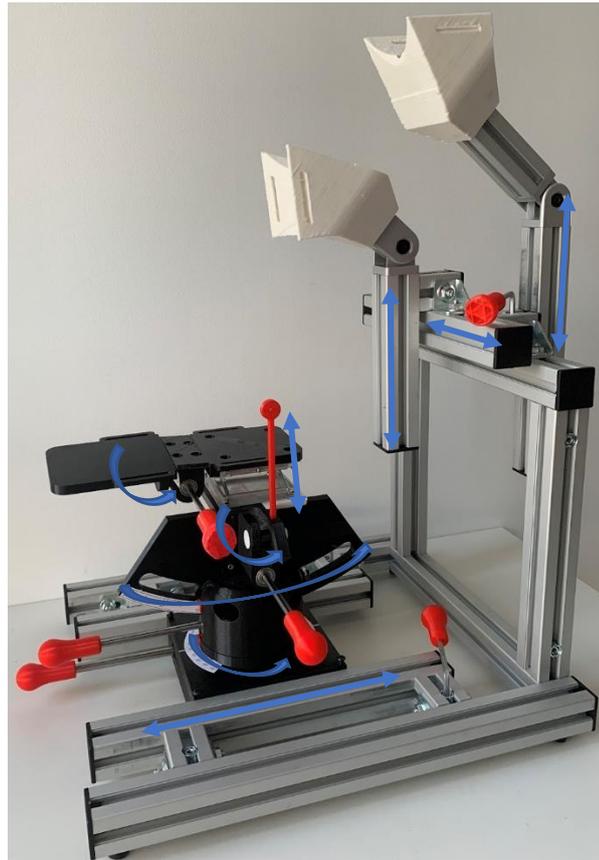
Ilustración 87: Señalizaciones



Nota: Se muestran los componentes añadidos sobre el diseño final, para completar un diseño de fácil uso y lectura. Imagen de obtención propia.

A modo de esquema se presenta la ilustración 88, donde se pueden ver los movimientos realizados por el producto, como ya ha sido explicado con esas 4 rotaciones y 1 traslación posibles del producto y las 4 traslaciones de la estructura. También, se puede observar en la ilustración 89 la comprobación de altura efectiva realizada, donde suponiendo una altura de tobillo mínima de 45 mm, se obtiene una altura de producto desde el suelo de 310mm aproximadamente, similar a como se designó en el diseño final.

Ilustración 88: Movimientos implementados



Nota: Se muestra un esquema de los posibles movimientos y regulaciones del prototipo realizado. Imagen de realización propia.

Ilustración 89: Altura de producto



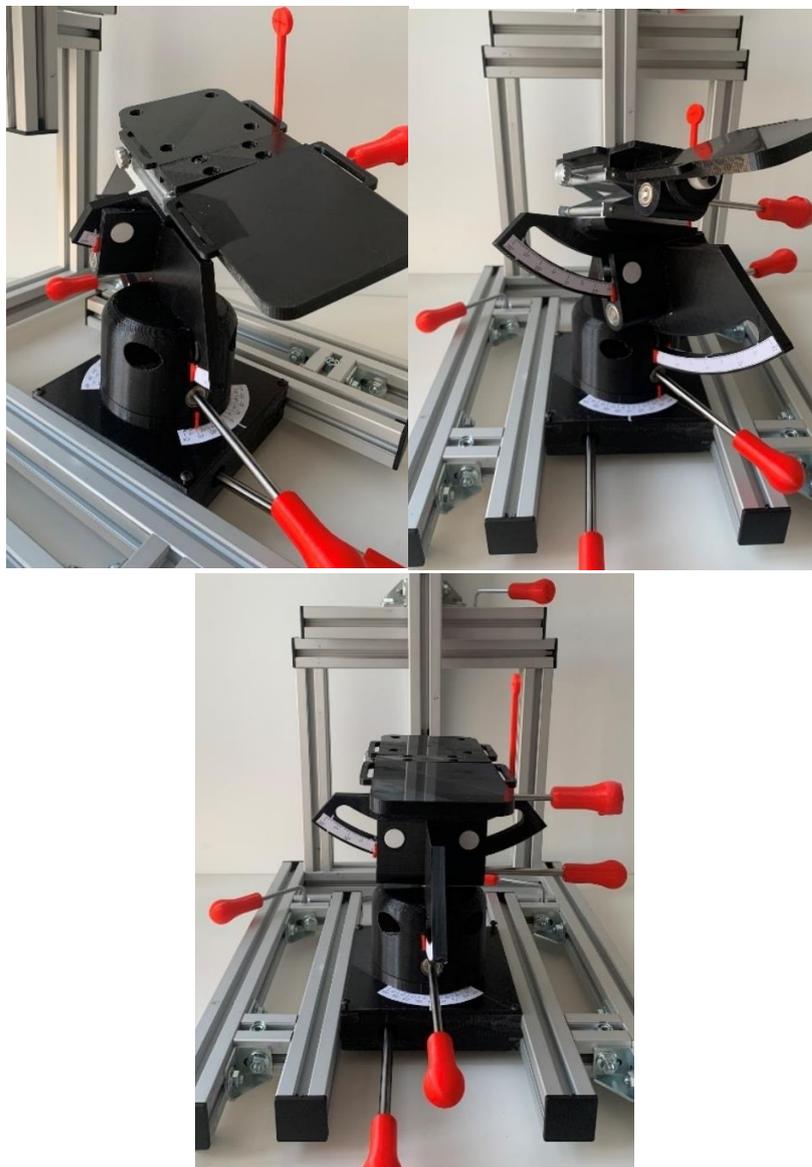
Nota: Se muestra la altura máxima del producto, suponiendo una altura de tobillo mínima de 45 mm. Obteniendo una altura acorde a la especificada. Imagen de obtención propia.

Prueba

En este apartado se realizarán diversas pruebas del producto para comprobar sus especificaciones, fallos o posibles mejoras. Para ello, aparte de probar su funcionamiento, se simulará un ensayo real, con lo que completará el uso y funcionamiento correcto.

La primera prueba realizada es la de realización de ángulos máximos de todos los movimientos, ya que con el sistema de verificación de ángulos se podrá comprobar su correcto funcionamiento. En la ilustración 90 se puede observar estos ángulos máximos, en la izquierda se ven los ángulos máximos de plantar flexión, inversión y abducción, mientras en la derecha se ve el ángulo máximo comprobado de dorsiflexión, eversión y aducción, en un pie izquierdo.

Ilustración 90: Prueba de rotación de ángulos

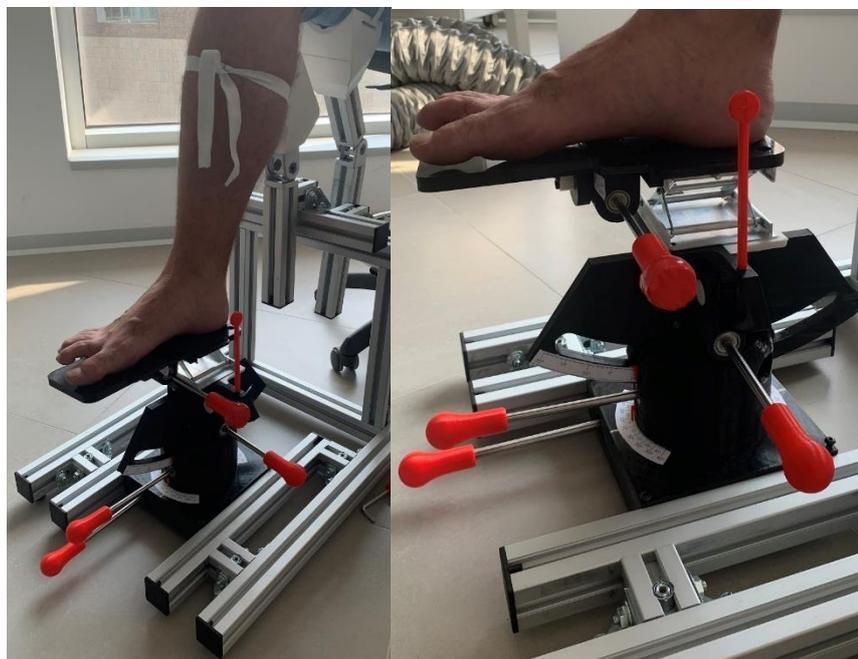


Nota: En la ilustración se muestra los ángulos máximos del producto, donde desde la imagen del centro con ángulos en 0 se puede llevar a más de 15° en todos los movimientos en ambos sentidos. Imagen de realización propia.

A continuación, se muestra la prueba realizada sobre un pie humano, donde los pasos a realizar el estudio serán: alinear pantorrilla y tobillo, a través del perfil que sujeta la sujeción de pantorrilla en el eje X; fijar el producto en el eje Y, a través de los 4 conectores de unión que fijan esta regulación; realizar la regulación de altura en el eje Z para hacer coincidir el centro de rotación del producto con el tobillo; fijar muslo y pantorrilla a la altura determinada a cada usuario; Fijar el pie en ambas partes antepié y retropié; considerando en este punto fijados todos los elementos se realizan las determinadas rotaciones primero las 3 rotaciones respecto el tobillo y la de eversión-inversión del antepié. Con ello, se podrán tomar los determinados ángulos, para dejar definido el ensayo y tomados los datos necesarios para los pertinentes pasos futuros.

En la ilustración 91, se muestran varias imágenes de la prueba realizada, donde se puede ver la sujeción de la pantorrilla y el muslo a 90°, así como comprobar que en una silla normal en su posición alta se podría realizar el estudio, a falta de sujeciones adecuadas y la fijación del pie.

Ilustración 91: Prueba realizada



Nota: Se muestran unas imágenes de la prueba realizada sobre el prototipo. Imágenes de obtención propia.

Por último, se muestra en la ilustración 92 una captura de las rotaciones del pie realizadas, en este caso del eje X, comprobando su funcionamiento, viabilidad, estabilidad y eficacia.

Ilustración 92: Captura de rotaciones



Nota: Se muestra una captura del ensayo realizado, suponiendo una simulación real. Imagen de obtención propia.

Una vez finalizado, se puede sacar en claro, la baja funcionalidad debido en cierta parte al diseño y a los materiales, ya que se considera muy inestable, con holguras y frágil para la realización del diseño. Por lo que en el apartado de análisis y líneas futuras se comentarán mejoras, para realizar este prototipo útil y funcional. Ya que este producto en un entorno real de funcionamiento no podría soportar fuerzas elevadas en elementos como el antepié o la rotación X. También sería necesario el diseño de sujeciones adecuadas para el estudio, así como sillas sin reposapiés que entorpezcan el estudio. Ignorando estos fallos de holguras, materiales y demás problemas observados. Cabe decir que las propias rotaciones se realizan correctamente, las regulaciones para ajustarse a cada tipo de usuario son correctas y la fijación de este también. Por lo que faltaría de paliar estas deficiencias para obtener un producto completamente útil y funcional.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Análisis

Una vez realizado todo el trabajo de diseño y prototipado, en este último apartado se analizará y concluirá el trabajo, a través de diversos análisis, para llegar a diversas conclusiones sobre el proyecto realizado y sobre el futuro de este.

Presupuesto

Se ha realizado un análisis de costes de dicho producto, suponiendo un coste máximo del mismo, recogiendo todas las piezas necesarias a adquirir o fabricar, así como el proceso de montaje del producto. Así como la tabla 11 muestra este presupuesto o análisis de coste del prototipo realizado

Tabla 11: Presupuesto

Proceso	Concepto	Descripción	Cant.	Coste unitario	Coste total
Suministros externos	NORELEM (Tabla 22)	Componentes necesarios para el producto relativos a rodamientos, ejes, tornillería, etc.	X	X	280 €
	FASTEN (Tabla 23)	Componentes necesarios para la estructura relativo a perfilera, tornillería, articulaciones, etc.	X	X	224 €
	Otros	Plataforma elevadora, llaves Allen, tornillería auxiliar, etc.	X	X	39 €
Impresión 3D	Material (PLA)	Material con el que se ha realizado todas las piezas de impresión 3D	1,5 kg	26 €/Kg	39 €
	Electricidad	Horas de uso de impresoras 3D	90 h	0,50 €/h	45 €
Mecanizado	Dremel	Rectificación y acabado de piezas	30 h	0,05 €/h	1,5 €
	Cortes y taladrados	Cortes de ejes, agujeros, etc.	1 h	0,19 €/h	0,19 €
Montaje	Estructura	Montaje estructura de FASTEN	1,5 h	12 €/h	18 €
	Producto	Montaje producto posicionador	1 h	12 €/h	12 €
Coste total					658,7 €

Nota: se muestra el presupuesto del prototipo realizado, con un coste total de 658,7 €. Tabla de realización propia.

Este valor, servirá de referencia para la comercialización del producto, así como para plantearse otras opciones de fabricación de este producto de mayor precisión o calidad. En algunos de estos valores han sido estimaciones, intentando llegar a un coste supuesto mayor al real, para no tener que asumir gastos mayores a estos estimados. También cabe destacar que este no es un presupuesto industrial, este análisis solo tiene en cuenta el coste de fabricación referido a coste de material, sin tener en cuenta coste de mano de obra directa e indirecta, puesto de trabajo, gastos sociales, generales o beneficio industrial. Este será un paso que realizar en caso de implantar el producto y comenzar a fabricar este producto de manera industrial.

Conclusiones

Dentro de este apartado se analizará la consecución de los objetivos, así como analizar la solución obtenida. Este será un aspecto fundamental para realizar una autocrítica constructiva del proyecto con la que evaluar y analizar realmente el trabajo realizado.

En los objetivos iniciales se puede ver, que se habían planteado diversos objetivos generales, como el uso de estas nuevas tecnologías, adaptación a ellas y construcción a través de esta Additive Manufacturing que, al haber realizado el prototipo se puede dar constancia de ello; otros objetivos también se han constituido como la realización de especificaciones que debe tener el producto realizado o realizar un proceso de trabajo de mejora continua. Estos objetivos se pueden considerar objetivos generales de consecución del trabajo, que son fundamentales para un mínimo de desarrollo del trabajo Desde otro punto de vista existen otros objetivos más específicos de consecución de trabajo, como el análisis de usuarios, la realización de un diseño acorde a los mismos o añadir un valor sobre los demás diseños existentes. Estos objetivos son más específicos y se ha considerado haber llegado a un nivel de desarrollo de los mismos, aunque tampoco se puede decir que satisfactoriamente, al siempre poderse haber un nivel de desarrollo mayor en estos objetivos. Ya que con un mayor tiempo se podrían haber realizado de mejor manera estos mismo. Pero se puede expresar desde un punto de vista objetivo y exterior al proyecto, el haber realizado dichos objetivos iniciales, mínimo de manera parcial.

Analizando el resultado obtenido, se debe comparar con las especificaciones del producto. Se puede observar haber conseguido realizar diversas especificaciones del producto, como por ejemplo, la regulación de sujeción de pantorrilla y muslo, acorde a los usuarios y regulable según ellos, añadiendo regulación en eje Z y eje X; también, se ha conseguido poder asegurar el centro de rotación del producto respecto del tobillo; realizar la regulación del eje Y a

través de tornillos sin fin; añadir un grado de libertad; reducir la altura respecto del producto anterior y realizar una regulación en la estructura en el eje Y, como así se ha comprobado en apartados anteriores. Pero, por el contrario, también cabe destacar las problemáticas o errores encontrados en el prototipo realizado. Por ejemplo, no se ha conseguido obtener un producto con bajas holguras, al tener holguras en la rotación del eje Z y en la regulación del antepié del eje Y, además de no aportar ninguna mejora sustancial al proceso de escáner del pie de los usuarios. Estos elementos no conseguidos deberán ser paliados en un futuro para dejar el producto acabado cuando sea totalmente funcional para el estudio designado, por ello, en apartados posteriores se analizarán estas especificaciones incumplidas para tomar decisiones sobre líneas de actuación o pasos futuros a realizar. Por lo que de manera objetiva se puede afirmar haber conseguido dar un valor mayor al producto al cumplir varios objetivos dentro de las especificaciones, pero deberá ser mejorado en estos aspectos para completar el proyecto de manera útil y funcional.

Repercusiones Sociales

Dentro de las repercusiones sociales, este producto podrá repercutir en toda una industria médica, que es la ortopedia, donde con este producto, se completa a prototipos o ideas anteriores, con el que dar un impacto real sobre su sistema de funcionamiento ya que, con estas ideas anteriores, se ha constatado directamente la necesidad específica existente, ya sea desde los objetivos iniciales del producto, como especificaciones y rediseños. Es decir que, este producto tendrá repercusión, no por haber realizado un análisis dentro del mercado o algo similar, sino por haber conseguido transformar las necesidades de los profesionales de este ámbito en realidades a través del diseño. Por lo que, con este producto una vez finalizado definitivamente, el profesional ortopeda, realizará dicho estudio y mejorará el análisis de los diversos pacientes, implicando obviamente, una mejora en su tratamiento y evolución en la patología.

Líneas Futuras del Diseño

Por último, una vez analizado el prototipo obtenido y sus deficiencias, se detallarán las diversas líneas de trabajo, para mejorar el producto en diversas vías.

Otro Sistema de Rótula Graduable. Como se ha visto en el estado de la técnica, este sistema de engranajes viene muy bien para fijar ángulos de rotación y soportar fuerzas humanas. Pero una línea de trabajo puede de ser la

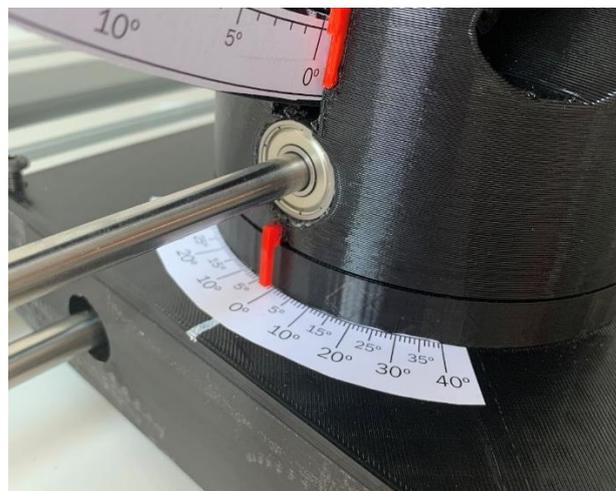
de realizar las diversas rotaciones partiendo de otro sistema de rotación como se ha visto la existencia de otros topes de rotulas o sistemas, los cuales podrían servir como base para realizar la mejora de este prototipo realizado.

Aplicar Motores a Las Rotaciones. Como también se estudió en el trabajo precedente, estas rotaciones también están pensadas para aplicar servomotores incorporados a los ejes, con los que obtener unas rotaciones menos manuales y más precisas a través de esta tecnología (García Soler, 2021).

Estudio de Fallos del Diseño Realizado. Siguiendo el proceso de mejora continua aplicado durante el trabajo, se podrá seguir esta línea de diseño, para según los fallos vistos en las pruebas y en el prototipo realizado, obtener un producto cada vez más completo, más útil y de mayor valor propio del producto. Por ello, a continuación, se detallan fallos y líneas de mejora dentro de este prototipo.

- 1) **Holgura Eje Z.** Como se ha explicado anteriormente, en la rotación del eje Z existe una holgura de unos 4° , por lo que el tornillo sin fin, si permite la rotación y movimiento, pero no fija adecuadamente la rotación, obteniendo esta holgura tan elevada. Esto se debe a la poca cantidad de dientes de la rueda helicoidal, por lo que se deberá aumentar este valor, así como disminuir el módulo. En la ilustración 9 se muestra donde se encuentra esta deficiencia.

Ilustración 93: Holgura eje Z



Nota: Se muestra la marca que indica el ángulo en el eje Z, donde se ha comprobado la existencia de estos 4° de holgura. Imagen de obtención propia.

- 2) **Movimiento Antepié.** De manera similar sucedía con la rotación incorporada en el eje Y del antepié, donde con poca fuerza se puede manipular esta rotación. Para resolver este aspecto se plantearía

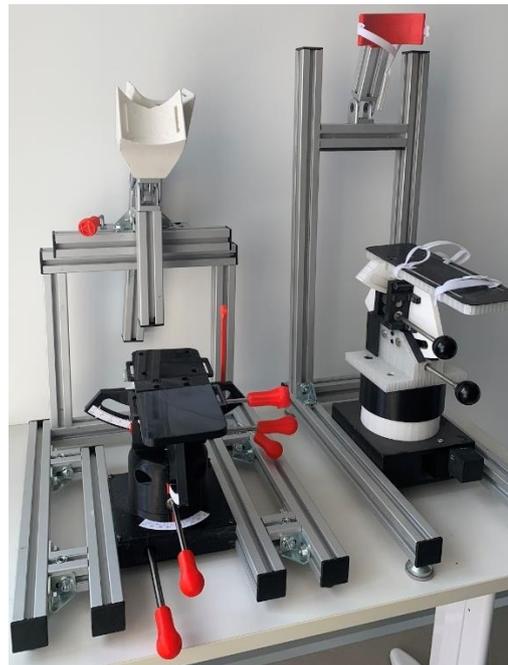
aumentar la relación de transmisión de esta rotación de manera que se necesite muchas más vueltas para realizar una variación en la rotación de este eje.

- 3) **Movimiento Pieza Rotación X.** Existe un movimiento no deseado debido a la pieza rotación X, esto se debe al poco grosor de dicha pieza ya que con 10 mm de espesor sujeta fuerzas de toda la plataforma de 100 mm de ancho y largo. Por ello, se plantean dos posibles mejoras, como aumentar el relleno de esta pieza para que sea más rígida y de menor movimiento o replantear el diseño para ofrecer un mejor apoyo y soporte de fuerzas, cosa que encarecería en gran medida la mejora, al llevar un mayor tiempo.
- 4) **Sujeción Correcta del Usuario.** En este diseño, se han realizado las bases de sujeción de los usuarios adaptados a las medidas máximas de usuarios, pero faltaría fijar la correcta sujeción, a través de cintas, cinchas o demás de medidas y formas determinadas.
- 5) **Realizar Chavetas.** Dentro del tornillo sin fin del eje Z, este está accionado por una pieza fija al eje con un saliente que transmite la rotación del eje al tornillo sin fin, de tal manera que una vez se rompa esta pieza deberá desmontarse repetir la pieza y montarse. Por ello, será un mejor diseño aquel que solo se necesite repetir las chavetas para un diseño más duradero y solo tener que repetir la fabricación de estas piezas.
- 6) **Ruedas Helicoidales de Mejor Material.** Estas ruedas helicoidales son de PLA, como se ha designado, para un uso general sería suficiente, pero al estar estas ruedas en contacto con los tornillos sin fin, el desgaste por rozamiento con el metal podrá ser elevado, y tener que repetir la impresión de estas piezas en un corto plazo de tiempo. Por lo que el uso de materiales más resistentes y duraderos podrá aportar una gran mejora en estas rotaciones.
- 7) **Realizar Uniones no Temporales.** Como ya se ha explicado, diversas uniones se han realizado a través de pegado o soldado, por lo que con un mayor tiempo y para un prototipo más duradero, lo recomendable sería realizar uniones acordes con agujeros y pasadores, como era la idea inicial, porque si no existiría la posibilidad de ocurrir incidentes, al despejarse o romperse estas uniones.
- 8) **Mejor Tecnología.** También se plantea como mejora, la realización de estas piezas de impresión 3D a través de otra tecnología, como por ejemplo estas ruedas helicoidales fabricadas en 3D, podrán ser

de mayor calidad en el caso de fabricarse en materiales más adecuados como metales o similares.

Con estas mejoras planteadas, se podrán completar los diversos aspectos o problemáticas existentes de cara a la realización del producto, y llegar a un producto completamente definido y mejorado acorde a las necesidades del producto y de los usuarios. En la ilustración 94 se muestra una comparativa entre el producto referencia y el prototipo realizado, donde se observa entre otras cosas las diferentes funciones y alturas.

Ilustración 94: Comparativa de productos



Nota: Se muestran a la izquierda el prototipo de la mejora realizada y el prototipo referencia actualmente. Imagen de obtención propia.

Una vez realizado el análisis final del proyecto se da por concluido y totalmente especificado el trabajo realizado, según se puede ver en el desarrollo del mismo, a falta de elementos específicos en los diversos anexos. Por tanto, a este punto cabe desear que se siga mejorando esta línea investigadora tratando de ofrecer soluciones como estas a los problemas futuros y ofrecer la posibilidad de contacto a quien lo requiera en caso de necesitarlo en cualquier asunto de este proyecto realizado.

Bibliografía

- 3D, S. M. (Version 1.1). *PLA*. Obtenido de Technical data sheet: https://www.smartmaterials3d.com/index.php?controller=attachment&id_attachment=99
- AENOR, c. t. (Julio de 1998). *Dibujos técnicos. Signos convencionales para engranajes*. Obtenido de UNE-EN-ISO 2207: <https://acortar.link/crOVFu>
- Amazon. (13 de Octubre de 2020). *Plataforma elevadora de laboratorio 100X100mm*. Obtenido de Entatial: <https://acortar.link/e9S6BX>
- Amazon. (10 de Enero de 2022). *Gidenfly Plataforma elevadora, plataforma elevadora de laboratorio, 90 x 90 mm, de acero inoxidable, para router, elevadora, máquina de grabado láser pequeña, dispositivo de laboratorio*. Obtenido de Gidenfly: <https://acortar.link/vKXVBC>
- Benjumea, A. C. (2001). *Datos antropométricos de la población laboral española*. Obtenido de CNMP Sevilla. INSHT: <https://acortar.link/6FfsX0>
- Casal, J. (25 de Mayo de 2020). *HUESOS DEL PIE. NOMBRES, PARTES Y FUNCIONES DE ESTA ANATOMÍA ÓSEA*. Valencia, Comunidad de Valencia, España.
- Danzalico. (19 de Abril de 2015). *TEORÍA DEL MOVIMIENTO: Calentamiento y Elongación*. Obtenido de Clases del movimiento: <https://acortar.link/o1G8zY>
- De los Mozos, R., Alfageme, A., & Ayerdi, E. (Julio-Septiembre de 2002). Evolución de las medidas antropométricas del pie infantil. *Gaceta de Bilbao*, págs. 58-62.
- French, M. (1985). *Modelo*.
- García Soler, D. (2021). *Diseño y prototipado de un mecanismo de tres grados de libertad para el posicionado de la articulación del tobillo*. Valladolid: UVA.
- Geijo Barrientos, J. (Octubre de 2019). *Tema Teorías, metodologías y métodos del diseño industrial*. Obtenido de Asignatura Metodología del diseño.
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2010). *Additive Manufacturing Technologies*. Nueva York: Springer.
- Help, A. (20 de Abril de 2021). *Diseño de engranajes helicoidales*. Obtenido de <https://acortar.link/yK4EmQ>



- Huelva Leal, J. (06 de Noviembre de 2013). *Tema 9: Anatomía del pie*. Obtenido de Osteología, Ligamentos, Cinesiología, articulaciones y lesiones deportivas del pie. UPO: <https://acortar.link/4lcX4r>
- icuenca.com. (16 de Febrero de 2017). *Tecnología sin más*. Obtenido de Cambio del sistema de nivelar caliente para impresora 3D Anet A8: <https://acortar.link/wBGYhl>
- ISO. (1979). *Elementos de fijación, Agujeros de paso para pernos y tornillos*. Norma Internacional.
- Malosio, M., Pio Negri, S., Pedrocchi, N., & Vicentini, F. (Agosto de 2012). *A spherical parallel three degrees-of-freedom robot for ankle-foot neuro-rehabilitation*. Obtenido de Robotics for rehabilitation: <https://acortar.link/oq6vEt>
- MARCOS, S. (Siglo I). *Evangelio SAN MARCOS 3, 22-30*.
- Mata, F. O. (1er Trimestre de 2014). Antropometría y Toma de Medidas en Ortopedia Técnica – Miembros Inferiores – Parte I. *Artículos de Ortopedia*.
- McLaughlin, K. (s.f.). *Invictus Blog*. Obtenido de SEVEN DRILLS TO IMPROVE DORSIFLEXION IN THE ANKLE: <https://acortar.link/Z4FvM3>
- Mediciones antropométricas. Estandarización de las técnicas de medición, actualizada según parámetros internacionales. (27 de Octubre de 2003). *Journal PubliCE*.
- Nguyen, J., Lane Gentz, V., Kannapiran, S., Chaudhuri, S., & Polygerinos, P. (2019). Design of a Soft Ankle Joint Device for Correction of Inversion/Eversion Angle During Aquatic Therapy. *Design of Medical Devices Conference*, (pág. 2). Minneapolis, Minnesota.
- NORELEM. (s.f.). *22500 Conjuntos de rueda helicoidal de paso derecho*. Obtenido de <https://acortar.link/L39hWG>
- Podo-ortesis S.L.* (s.f.). Obtenido de <https://acortar.link/DMYdhQ>
- Polanco Guitierrez, A. M. (2004). *Modelo biomecánico para análisis de marcha*. Obtenido de Universidad de los Andes: <https://acortar.link/4leRU1>
- Polanco Gutiérrez, A. M. (2004). Modelo Biomecánico del pie para análisis de la marcha humana. *Universidad de los Andes*, 10.

- Prado León, L., Ávila-Chauland, R., & Luz Gonzalez-Muñoz, E. (2007). *Dimensiones antropométricas de población latinoamericana*. Gualajara: Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño.
- Sechrest, R. (2013). *Ankle Anatomy Animated Tutorial*. eOrthopyTV.
- Sistemas, F. (2017). *Componentes para mobiliario y equipamientos industriales*. Obtenido de V.17: <https://www.antipoda.eu/pdf/fasten.pdf>
- Sun, T. (2017). Development of a New Ankle Rehabilitation Robot. *The 7th Annual IEEE International Conference* (pág. 1479). Hawaii: C. W.
- Tecnodin. (2020). *Empuñadura graduable con casquillo roscado*. Obtenido de 470052K: <http://www.tecnodin.es/>
- Traumatología, C. O. (2018). *LUXACIÓN AGUDA MEDIOTARSIANA POR ACCIDENTE DEPORTIVO*. Logroño: Hospital San Pedro.
- Villa-Forte, A. (Febrero de 2020). *Manual MSD*. Obtenido de Evaluación del pie: <https://acortar.link/EiMFc3>
- Voegeli, A. V. (2003). Anatomía funcional y biomecánica del tobillo y el pie. *El pie en reumatología*, 469-477.
- Wen , L., Liang, W., Xie, F., Zuo, S., Li, J., Dong, M., . . . Kong, Y. (18 de Febrero de 2020). *Design and Performance Evaluation of a Novel Wearable Parallel Mechanism for Ankle Rehabilitation*. Obtenido de <https://doi.org/10.3389/fnbot.2020.00009>
- Zulueta Pérez, P. B. (2021-2022). *Calidad*. Obtenido de Asignatura Oficina Técnica: <https://cutt.ly/tJaHFXb>



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Anexos

En este apartado se describirán y aportarán contenidos referentes a especificar los contenidos anteriores, pero por su extensión no tienen cabida en el informe anterior, ya sean elementos normalizados obtenidos, tablas de despiece o planos de piezas realizadas.

Elementos normalizados

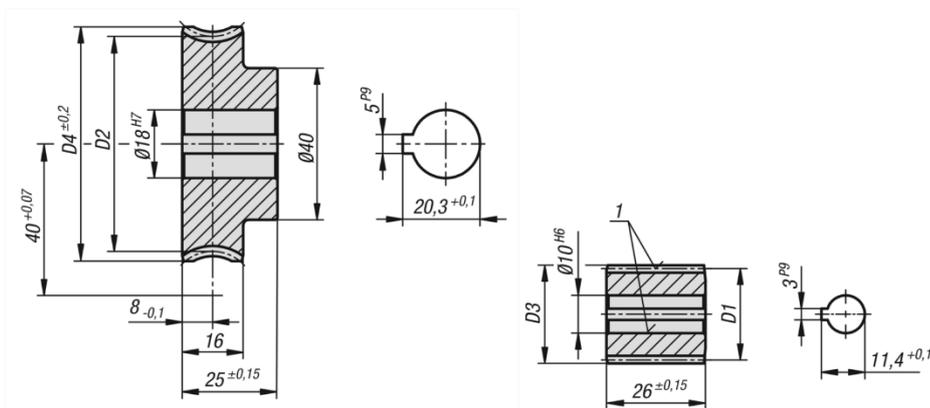
A continuación, se muestran los elementos normalizados adquiridos.

En primer lugar, se muestran las especificaciones del elemento 2, como se ve en la tabla 12 e ilustración 95, encargado de realizar la rotación del eje Z vertical. Estos tornillos sin fin elegidos son de acero templado por cementación y pulido con un ángulo de presión de 15°. Las ruedas helicoidales son de Latón, con mismos acabados y ángulos de presión que los tornillos sin fin, como así designa el suministrador (NORELEM).

Tabla 12: Especificaciones conjunto de rueda helicoidal elemento 2

Referencia	22500-401028	Referencia	22500-402028
Diámetro primitivo	24 mm	Diámetro primitivo	56 mm
Ángulo de pendiente	4° 47'	Ángulo de pendiente	4° 47'
Diámetro exterior	28 mm	Diámetro exterior	61,5 mm
Módulo	2	Módulo	2
Nº de entradas	1	Nº de dientes	28
Peso	72,77 g	Peso	361,21 g

Ilustración 95: Especificaciones elemento 2



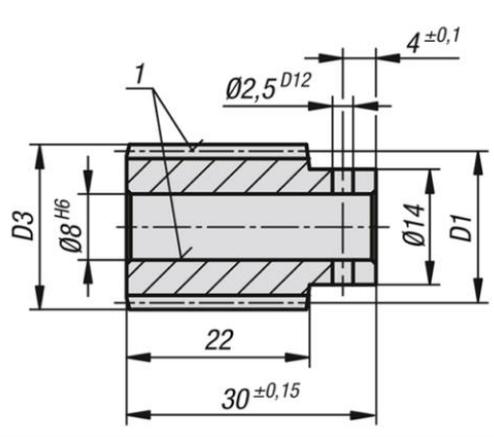
Nota: Todas estas tablas han sido obtenidas desde fichas técnicas y documentación aportada por NORELEM, como así ha sido especificado anteriormente (NORELEM).

Se muestra en la tabla 13 e ilustración 96 las especificaciones del tornillo sin fin referente al elemento 11 y 12, el cual realiza la rotación X, Y del producto.

Tabla 13: Especificaciones tornillo sin fin 22500-311020

Referencia	22500-311020
Diámetro primitivo	16,54 mm
Ángulo de pendiente	7° 49'
Diámetro exterior	18,04 mm
Módulo	0,75
Nº de entradas	3
Peso	33,56

Ilustración 96: Especificaciones tornillo sin fin Cd=31 mm



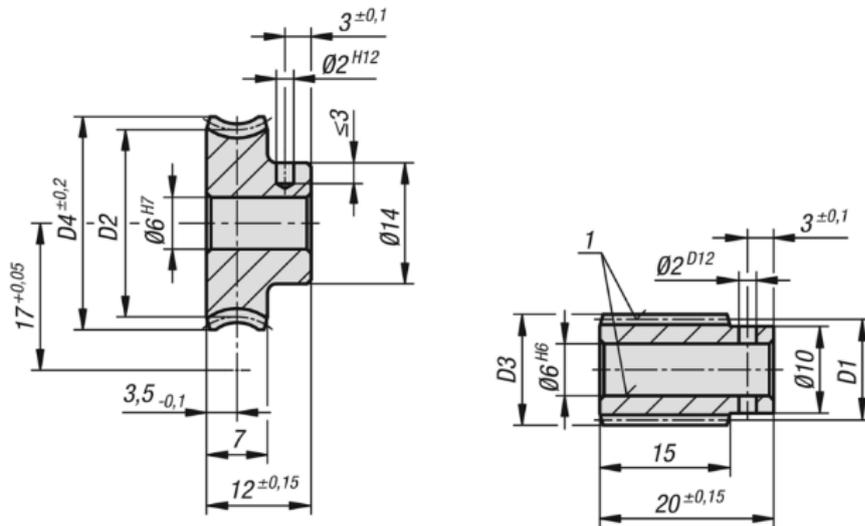
Nota: Se muestran las características del tornillo sin fin elegido anteriormente, para la realización de la regulación de rotación en el eje X, Y. Imagen y datos obtenidos por la oferta de tornillos sin fin de NORELEM (NORELEM).

El último conjunto de rueda helicoidal es aquel que realiza la rotación en el eje Y del antepié, correspondiente al elemento 23. En la ilustración 97 y tabla 14 se muestran sus especificaciones.

Tabla 14: Especificaciones conjunto de rueda helicoidal elemento 23

Referencia	22500-171007	Referencia	22500-172007
Diámetro primitivo	12,34 mm	Diámetro primitivo	21,66 mm
Ángulo de pendiente	14° 4'	Ángulo de pendiente	14° 4'
Diámetro exterior	14,34 mm	Diámetro exterior	24,6 mm
Módulo	1	Módulo	1
N.º de entradas	3	N.º de dientes	21
Peso	12,07 g	Peso	23,92 g

Ilustración 97: Conjunto de rueda helicoidal de distancia de ejes de 17 mm



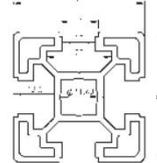
Nota: Se muestra las especificaciones de este conjunto pensado a incluir para realizar la rotación mencionada. Imagen obtenida por la oferta de conjuntos de rueda helicoidal de NORELEM ya mencionada anteriormente (NORELEM).

Los demás elementos normalizados de este suministrador quedan definidos en los planos de conjunto, donde por ejemplo se pueden ver medidas máximas y mínimas de rodamientos o métricas de tornillos existentes. Si cabe destacar que estos rodamientos son ranurados de bolas de una fila de acero, se han elegido de forma 2Z, con junta con empaquetaduras laberínticas sin contacto por los dos lados, y lubricados, como así designa el fabricante (NORELEM).

A continuación, se muestran los diversos elementos normalizados necesarios para la realización de la estructura de sujeción del usuario y del producto, con referencia del suministrador de estas piezas (Sistemas, 2017). En la ilustración 98 se pueden observar las diversas características del perfil utilizado en la estructura. En la ilustración 99 los pies base, que servirán de apoyo desde los perfiles al suelo. En la ilustración 100 se muestra la articulación necesaria para regular el ángulo de las sujeciones.

Ilustración 98: Perfil 40x40

Perfil básico 40x40 Basic profile 40x40



5009



1,5

I_x cm⁴

9,0

I_y cm⁴

9,0

W_x cm³

4,5

W_y cm³

4,5

Ilustración 99: Pie base

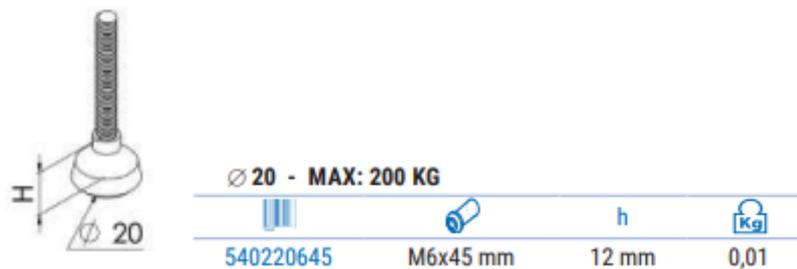
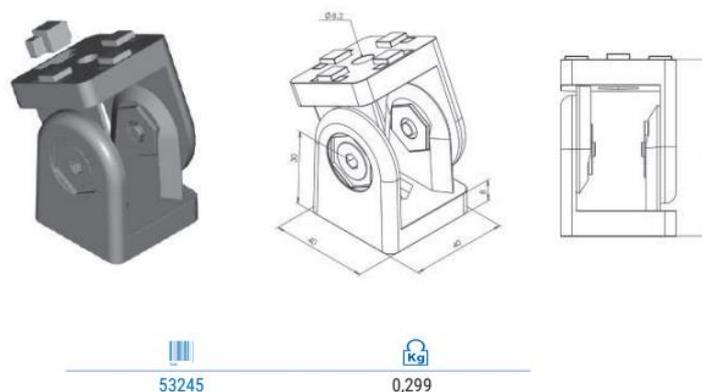


Ilustración 100: Articulación graduable

Articulación 40x40 Aluminio
Pivot joint 40x40 Aluminium



Nota: Perfil 40x40 utilizado en la estructura, unido a través de distinta tornillería. Pies base de unión entre suelo y perfil. Articulación para sujeción de muslo y pantorrilla. Imagen obtenida a través del suministrador mencionado (Sistemas, 2017).

Con todos estos elementos normalizados, añadiendo la tornillería indicada sería posible la fabricación del producto, obviamente añadiendo otros elementos no normalizados diseñados.

Tablas

A continuación, se muestran las diversas tablas mencionadas durante el proyecto, para la definición de cada una de las soluciones presentadas, y mostrar una descripción de los diversos componentes y realizar los despieces. Se diferenciarán las tablas según el nivel en el que se encuentre del proceso de diseño del producto. Siendo las tablas de color verde, los primeros despieces de producto; las naranjas, despieces de los rediseños realizados; las azules, los despieces finales del producto diseñado y, por último, las amarillas sobre los parámetros de impresión utilizados.

Tabla 15: Despiece elementos Diseño Formal de Estructura y sujeción de pantorrilla

Elemento	Cant.	Descripción	Fabricación
1	2	Perfil 40x40 l=500 mm	Fasten
2	2	Perfil 40x40 l=400 mm	Fasten
3	1	Perfil 40x40 l=170 mm	Fasten
4	2	Perfil 40x40 l=420 mm	Fasten
5	1	Perfil 40x40 l=250 mm	Fasten
6	1	Perfil 40x40 l=40 mm	Fasten
7	1	Perfil 40x40 l=300 mm	Fasten
8	1	Perfil 40x40 l=135 mm	Fasten
9	4	Pies, bases de poliamida	Fasten
10	10	Escuadra 43x43x30	Fasten
11	1	Conector canal 10 mm	Fasten
12	1	Articulación regulable 40x40	Fasten
13	28	Tornillo cabeza martillo + tuerca, canal 10 mm	Fasten
14	4	Pletina de unión 53231	Fasten
15	1	Sujeción de pantorrilla	Impresión 3D plástico flexible
16	12	Tapetas 40x40	Fasten

Nota: Primer despiece de estructura y diseño de pantorrilla. Tabla de realización propia

Tabla 16: Despiece elementos Diseño Formal de Rotación eje Z

Elemento	Cant.	Descripción	Fabricación
17	1	Base	Impresión 3D
18	1	Tapa de la base	Impresión 3D
19	1	Tapa unida al rodamiento	Impresión 3D
20	1	Casquillos inferiores	Existente
21	1	Rueda Helicoidal eje Z (Ref. 22500-532015)	Existente
22	1	Sin Fin eje Z (Ref. 22500-531013)	Existente
23	1	Eje inferior	NORELEM
24	1	Rodamiento rotación Z (De: 60 mm, Ds: 95mm)	Existente
25	1	Pieza rotación Eje Z	Impresión 3D
26	4	Tornillos M9 (Unión pieza rotación y rueda helicoidal)	NORELEM
27	4	Tornillos M5 (Unión entre pieza Base y tapa de la base)	NORELEM

Tabla 17: Despiece elementos Diseño Formal de Rotación eje X, eje Y

N.º de pieza	Cantidad	Descripción	Fabricación
28	2	Tornillo sin fin (Rotación X, Y) (22500-311020)	NORELEM
29	1	Rueda Helicoidal Rotación en X	Impresión 3D
30	4	Rodamientos Rotación eje X, eje Y (De: 8 mm, Ds: 16 mm)	NORELEM
31	1	Eje medio	NORELEM
32	2	Pasadores eje medio	Impresión 3D
33	4	Tornillos de unión (Pasadores) (M8x40)	NORELEM
34	2	Rueda Helicoidal Rotación en Y	Impresión 3D
35	1	Eje Superior	NORELEM
36	2	Pasadores eje superior	Impresión 3D

Tabla 18: Despiece elementos Diseño Formal de Desplazamiento eje Z, sujeción de pie y Rotación eje Y Antepié

N.º de pieza	Cantidad	Descripción	Fabricación
37	1	Plataforma elevadora 90x90 cm	Existente
38	1	Plataforma base	Impresión 3D
39	8	Tornillos M5 (Unión entre plataformas) (Ref.07174-1105X20)	NORELEM
40	1	Soporte eje rotación antepié	Impresión 3D
41	1	Carcasa Rotación antepié	Impresión 3D
42	1	Asiento Rotación antepié	Impresión 3D
43	2	Rodamientos Rotación eje Superior (antepié) (De: 6 mm, Ds: 10 mm)	NORELEM
44	1	Rodamiento Rotación eje Y (antepié) (De: 8 mm, Ds: 16 mm)	NORELEM
45	1	Tornillo sin fin (Rotación Y antepié) (22500-171007)	NORELEM
46	1	Rueda Helicoidal eje Y antepié (Ref. 22500-172007)	NORELEM
47	1	Eje Rotación Antepié	NORELEM
48	1	Plataforma Base Antepié	Impresión 3D

Nota: En estas tablas anteriores se ha podido observar todos los elementos técnicos y precisos necesarios para la realización completa del proyecto en un primer diseño formal.
Tablas de realización propia

Tabla 19: Despiece de Estructura del Primer Rediseño

N.º de pieza	Cantidad	Descripción	Referencia
34	2	Perfil básico 20x20 L=500mm	Fasten (Ref. 5049)
35	2	Perfil básico 20x20 L=170mm	Fasten (Ref. 5049)

N.º de pieza	Cantidad	Descripción	Referencia
36	4	Pie base de poliamida Ø20	Fasten (Ref. 540220645)
37	5	Perfil básico 20x20 L=20mm	Fasten (Ref. 5049)
38	5	Conector paralelo canal 7 mm	Fasten (Ref. 535020)
39	2	Perfil básico 20x20 L=400mm	Fasten (Ref. 5049)
40	12	Escuadra 20x20x17 aluminio fundido	Fasten (Ref. 53301)
41	28	Tornillo cabeza martillo + tuerca, canal 6 mm	Fasten (Ref. 525113)
42	-	tuerca cabeza martillo M6	(Ya incluido en los 28 del elemento 41)
43	2	Perfil básico 20x20 L=320mm	Fasten (Ref. 5049)
44	1	Perfil básico 20x20 L=300mm	Fasten (Ref. 5049)
45	1	Perfil básico 20x20 L=133mm	Fasten (Ref. 5049)
46	4	Manivela Desplazamiento Y	Impreso en 3D y fijado con soldadura
47	1	Sujeción pantorrilla	Impreso en 3D y fijado con Tornillo autorroscante (49)
48	1	Articulación regulable 20x20	Fasten (Ref. 53248)
49	3	Tornillo autorroscante M6x20	Fasten (Ref. 53616)
50	16	Tapetas 20x20	Fasten (Ref. 55019)

Nota: En la tabla anterior, se muestra el despiece de la estructura rediseñada en una primera instancia, mejorando diversos aspectos, como altura de componentes o el tipo de perfil utilizado. Se ha obtenido dicha tabla a partir de la estructura conjunto desarrollada.

Tabla 20: Despiece Producto Primer Rediseño

Despiece de producto			
Elemento	Cant.	Producto	Descripción
1	1	Base	Impreso en 3D
2	1	Sin fin Rotación Z	Conjuntos de rueda helicoidal de paso derecho eje Z (Ref. 22500-532015 y 22500-531028) (Cd=50, M=2.5, Z2=30) o el conjunto existente (Norelem)
3	1	Tapa	Impreso en 3D
4	1	Rodamiento Rotación Z	Rodamiento Ranurado de bolas (Ref. 23800-105008016) (Norelem) (D=80, d=50) o los casquillos existentes
5	1	Tapa Auxiliar	Impreso en 3D
6	1	Rotación Z	Impreso en 3D
7	2	Rodamientos eje inferior	Rodamiento Ranurado de bolas (Ref. 23800-101502405) (Norelem) (D=24, d=15)

Elemento	Cant.	Producto	Descripción
8	16	Tornillos M5x20	Tornillo cabeza semicircular (Ref. 07174-1305X20) (Norelem)
9	4	Tornillos M8x30	Tornillo De Cabeza Cilíndrica con hexágono interior (Ref. 07160-208X30) (Norelem)
10	1	Eje inferior	Árbol Guía De Precisión (L=150, D=15H6) (Norelem) o eje ya existente
11	1	Sin Fin Rotación X	Sin Fin (Cd=31, M=0.75, Z1=3) (Ref. 22500-311020) (Norelem) o utilizar el ya existente y la rueda helicoidal realizada en impresión 3D
12	1	Sin Fin Rotación Y	Sin Fin (Cd=31, M=0.75, Z1=3) (Ref. 22500-311020) (Norelem) y la rueda helicoidal realizada en impresión 3D
13	1	Plataforma Desplazamiento Z	Plataforma elevadora de laboratorio, 90x90 mm (Amazon)
14	2	Pasadores eje X	Impreso en 3D
15	2	Pasadores eje Y	Impreso en 3D
16	4	Tornillos M12x40	Tornillo De Cabeza Cilíndrica con hexágono interior (Ref. 07160-212X40) (Norelem)
17	6	Rodamientos Rotación X	Rodamiento Ranurado De Bolas de una fila (D=22, d=8) (Ref. 23800-100802207) (Norelem)
18	1	Eje Medio	Árbol Guía De Precisión (L=200, D=8H6) (Ref. 21595-008X1000) (Norelem)
19	1	Plataforma de apoyo	Impreso en 3D
20	8	Tuerca M5	Tuerca Hexagonal forma baja (M5) (Ref. 07212-05) (Norelem)
21	4	Tuerca M12	Tuerca Hexagonal forma baja (M12) (Ref.07212-12) (Norelem)
22	1	Eje Superior	Árbol Guía De Precisión (L=150, D=8H6) (Ref. 21595-008X1000) (Norelem)
23	1	Sin Fin Rotación Y (Antepié)	Sin Fin y Corona helicoidal (Cd=17, M=1, Z1=3) (Ref. 22500-171007) (Ref. 22500-172007) (Norelem)
24	1	Sujeción eje Antepié	Impreso en 3D
25	1	Eje Antepié	Árbol Guía De Precisión (L=150, D=6H6) (Ref. 21595-006X1000) (Norelem)
26	1	Rotación Antepié	Impreso en 3D
27	7	Tornillos M4x18	Tornillo Hexagonal rosca continua (M4x18) (Ref. 07171-04X18) (Norelem)
28	4	Tuerca M4	Tuerca Hexagonal con elemento de sujeción (M4) (Ref. 07214-104) (Norelem)
29	1	Rodamientos Rotación Y (Antepié)	Rodamiento Ranurado De Bolas de una fila (D=16, d=6) (Ref. 23800-100601906) (Norelem)
30	1	Tapa Antepié	Impreso en 3D
31	1	Plataforma Antepié	Impreso en 3D
32	2	Tornillos M5x8	Tornillo cabeza semicircular (M5x8)(Ref.07174-1108X8) (Norelem)

Elemento	Cant.	Producto	Descripción
33	4	Tornillos M5x16	Tornillo cabeza semicircular (M5x16) (Ref.07174-1108X16) (Norelem)
34	2	Perfil básico 20x20 L=500mm	Fasten (Ref. 5049)
35	2	Perfil básico 20x20 L=170mm	Fasten (Ref. 5049)
36	4	Pie base de poliamida Ø20	Fasten (Ref. 540220645)
37	5	Perfil básico 20x20 L=20mm	Fasten (Ref. 5049)
38	5	Conector paralelo canal 7 mm	Fasten (Ref. 535020)
39	2	Perfil básico 20x20 L=400mm	Fasten (Ref. 5049)
40	12	Escuadra 20x20x17 aluminio fundido	Fasten (Ref. 53301)
41	28	Tornillo cabeza martillo + tuerca, canal 6 mm	Fasten (Ref. 525113)
42	-	tuerca cabeza martillo M6	(Ya incluido en los 28 del elemento 41)
43	2	Perfil básico 20x20 L=320mm	Fasten (Ref. 5049)
44	1	Perfil básico 20x20 L=300mm	Fasten (Ref. 5049)
45	1	Perfil básico 20x20 L=133mm	Fasten (Ref. 5049)
46	4	Manivela Desplazamiento Y	Impreso en 3D y fijado con soldadura
47	1	Sujección pantorrilla	Impreso en 3D y fijado con Tornillo autorroscante (49)
48	1	Articulación regulable 20x20	Fasten (Ref. 53248)
49	3	Tornillo autorroscante M6x20	Fasten (Ref. 53616)
50	16	Tapetas 20x20	Fasten (Ref. 55019)

Nota: Tras el primero rediseño se plantea este despiece total del producto, donde incluye todos los componentes requeridos a falta de un rediseño siguiente de la estructura y ya de manera definitiva en este proyecto la realización del prototipo, sus propios estudios y demás pruebas posteriores. La obtención de esta tabla es de realización propia.

Tabla 21: Tabla de Despiece Final del Producto

Tabla de elementos normalizados

Elemento	Cant.	Producto	Descripción
1	1	Base	Impreso en 3D
2	1	Sin fin y Rueda Helicoidal Rotación Z	Conjuntos de rueda helicoidal de paso derecho eje Z (Cd=40, M=2, Z2=28)
3	1	Tapa	Impreso en 3D
4	1	Rodamiento Rotación Z	Rodamiento Ranurado de bolas (D=80, d=50)
6	1	Rotación Z	Impreso en 3D
7	2	Rodamientos eje inferior	Rodamiento Ranurado de bolas (D=19, d=10)
8	16	Tornillos M5x20	Tornillo cabeza semicircular
9	4	Tornillos M8x30	Tornillo De Cabeza Cilíndrica con hexágono interior
10	1	Eje inferior	Árbol Guía De Precisión (L=150, D=10H6)
11, 12	2	Sin Fin Rotación Y, Rotación X	Sin Fin (Cd=31, M=0.75, Z1=3)
13	1	Plataforma Desplazamiento eje Z	Plataforma elevadora 90x90 mm (Amazon)
14	2	Pasadores eje X	Impreso en 3D
15	2	Pasadores eje Y	Impreso en 3D
16	4	Tornillos M12x40	Tornillo De Cabeza Cilíndrica con hexágono interior
17	6	Rodamientos Rotación X	Rodamiento Ranurado De Bolas de una fila (D=22, d=8)
18, 22	1	Eje Medio (L=200mm), Superior(L=150mm)	Árbol Guía De Precisión (L=550, D=8H6) (Ref. 21595-008X1000)
19	1	Plataforma de apoyo	Impreso en 3D
20	8	Tuerca M5	Tuerca Hexagonal forma baja
21	4	Tuerca M12	Tuerca Hexagonal forma baja
23	1	Sin Fin y Rueda Helicoidal Rotación Y (Ante pie)	Sin Fin y Corona helicoidal (Cd=17, M=1, Z1=3)
24	1	Sujeción Eje Antepié	Impreso 3D
25	1	Eje Antepié	Árbol Guía De Precisión (L=550, D=6H6)
26	1	Rotación Antepié	Impreso en 3D
27	7	Tornillos M4x18	Tornillo Hexagonal rosca continua
28	4	Tuerca M4	Tuerca Hexagonal con elemento de sujeción
29	3	Rodamientos Rotación Y (Antepié)	Rodamiento Ranurado De Bolas de una fila (D=16, d=6)
30	1	Tapa Antepié	Impreso en 3D
31	1	Plataforma Antepié	Impreso en 3D
32	2	Tornillos M5x8	Tornillo cabeza semicircular
33	2	Perfil básico 40x40 L=500 mm	FASTEN (Ref. 5009)

Elemento	Cant.	Producto	Descripción
34	4	Pie base de poliamida Ø20	FASTEN (Ref. 540220645)
35	22	Escuadra 33x33x30 acero zincado	FASTEN (Ref. 5305)
36	8	Conector paralelo canal 10 mm	FASTEN (Ref. 5350)
37	9	Perfil básico 40x40 L=50 mm (Agujeros para conector paralelo canal 10 mm)	FASTEN (Ref. 5009)
38	2	Perfil básico 40x40 L=350 mm	FASTEN (Ref. 5009)
39	17	Tapeta 40 x 40 mm	FASTEN (Ref. 5507)
40	2	Perfil básico 40x40 L=350 mm	FASTEN (Ref. 5009)
41	48	Tornillo cabeza martillo + tuerca, canal 10 mm (M8x20)	FASTEN (Ref. 525020)
42	8	Empuñadura graduable (Acorde a conectores canal 10 mm)	
43	3	Perfil básico 40x40 L=320 mm	FASTEN (Ref. 5009)
44	1	Perfil básico 40x40 L=300 mm	FASTEN (Ref. 5009)
45	2	Articulación regulable 40x40	FASTEN (Ref. 53246)
46	1	Perfil básico 40x40 L=150 mm	FASTEN (Ref. 5009)
47	1	Sujeción muslo	Impresión 3D
48	6	Tornillo de unión M12x40 Acero Inoxidable	FASTEN (Ref. 536012)
49	2	Perfil básico 40x40 L=200 mm	FASTEN (Ref. 5009)
50	1	Sujeción pantorrilla	Impresión 3D

Nota: Con esta tabla, se obtiene una descripción detallada de los componentes necesarios para realizar el producto, en caso de requerir una fabricación bajo demanda de clientes. Para ello, se podrá acceder a estas tablas de despiece finales y obtener el despiece, y a través de los despieces, planos, elementos normalizados y proceso de fabricación, llegar a obtener el producto diseñado. Tabla de obtención propia, a través de planos de definición del conjunto.

Tabla 22: Tabla de elementos normalizados (NORELEM)

Tabla de elementos normalizados

Elemento	Cant.	Producto	Descripción
2	1	Sin fin y Rueda Helicoidal Rotación Z	Conjuntos de rueda helicoidal de paso derecho eje Z (Ref. 22500-402028 y 22500-401028) (Cd=40, M=2, Z2=28)
4	1	Rodamiento Rotación Z	Rodamiento Ranurado de bolas (Ref. 23800-105008016) (D=80, d=50)
7	2	Rodamientos eje inferior	Rodamiento Ranurado de bolas (Ref. 23800-101001905) (D=19, d=10)
8	16	Tornillos M5x20	Tornillo cabeza semicircular (Ref. 07174-1305X20)
9	4	Tornillos M8x30	Tornillo De Cabeza Cilíndrica con hexágono interior (Ref. 07160-208X30)
10	1 (150 mm)	Eje inferior	Árbol Guía De Precisión (L=150, D=10H6) (Ref. 21595-010X1000)
11, 12	2	Sin Fin Rotación Y, Rotación X	Sin Fin (Cd=31, M=0.75, Z1=3) (Ref. 22500-311020)
16	4	Tornillos M12x40	Tornillo De Cabeza Cilíndrica con hexágono interior (Ref. 07160-212X40)
17	6	Rodamientos Rotación X	Rodamiento Ranurado De Bolas de una fila (D=22, d=8) (Ref. 23800-100802207)
18, 22	1 (450 mm)	Eje Medio (L=200mm), Superior(L=150mm)	Árbol Guía De Precisión (L=550, D=8H6) (Ref. 21595-008X1000)
25	1 (100 mm)	Eje Antepié	Árbol Guía De Precisión (L=550, D=6H6) (Ref. 21595-008X1000)
20	8	Tuerca M5	Tuerca Hexagonal forma baja (M5) (Ref. 07212-05)
21	4	Tuerca M12	Tuerca Hexagonal forma baja (M12) (Ref. 07212-12)
23	1	Sin Fin y Rueda Helicoidal Rotación Y (Ante pie)	Sin Fin y Corona helicoidal (Cd=17, M=1, Z1=3) (Ref. 22500-171007) (Ref. 22500-172007)
27	7	Tornillos M4x18	Tornillo Hexagonal rosca continua (M4x18) (Ref. 07171-04X18)
28	4	Tuerca M4	Tuerca Hexagonal con elemento de sujeción (M4) (Ref. 07214-104)
29	1	Rodamientos Rotación Y (Antepié)	Rodamiento Ranurado De Bolas de una fila (D=16, d=6) (Ref. 23800-100601906)
29	2	Rodamientos Rotación Y (Antepié)	Rodamiento Ranurado De Bolas de una fila (D=16, d=6) (Ref. 23800-100601906)
32	2	Tornillos M5x8	Tornillo cabeza semicircular (M5x8) (Ref. 07174-1305X8)

Nota: En la tabla anterior se muestran los componentes obtenidos a través de la empresa de suministros industriales NORELEM, como ya se ha mencionado anteriormente.

Tabla 23: Tabla de elementos normalizados (FASTEN)

Tabla de elementos normalizados			
Elemento	Cant.	Producto	Descripción
33	2	Perfil básico 40x40 L=500 mm (Agujeros para pie base poliamida)	FASTEN (Ref. 5009)
34	4	Pie base de poliamida Ø20	FASTEN (Ref. 540220645)
35	22	Escuadra 33x33x30 acero zincado	FASTEN (Ref. 5305)
36	8	Conector paralelo canal 10 mm	FASTEN (Ref. 5350)
37	9	Perfil básico 40x40 L=50 mm (Agujeros para conector paralelo canal 10 mm)	FASTEN (Ref. 5009)
38	2	Perfil básico 40x40 L=350 mm	FASTEN (Ref. 5009)
39	17	Tapeta 40 x 40 mm	FASTEN (Ref. 5507)
40	2	Perfil básico 40x40 L=350 mm	FASTEN (Ref. 5009)
41	48	Tornillo cabeza martillo + tuerca, canal 10 mm (M8x20)	FASTEN (Ref. 525020)
42	8	Empuñadura graduable (Acorde a conectores canal 10 mm)	
43	3	Perfil básico 40x40 L=320 mm	FASTEN (Ref. 5009)
44	1	Perfil básico 40x40 L=300 mm	FASTEN (Ref. 5009)
45	2	Articulación regulable 40x40	FASTEN (Ref. 53246)
46	1	Perfil básico 40x40 L=150 mm	FASTEN (Ref. 5009)
48	6	Tornillo de unión M12x40 Acero Inoxidable	FASTEN (Ref. 536012)
49	2	Perfil básico 40x40 L=200 mm	FASTEN (Ref. 5009)

Nota: En la tabla anterior se muestran los componentes obtenidos de la empresa de suministros industriales FASTEN, con la que se realizará la estructura diseñada finalmente. Para unir al producto y realizar el prototipo. Tabla obtenida, a través de realización de conjuntos de dichos productos necesarios

Tabla 24: Parámetros generales de impresión 3D

Parámetro	Valor	Tipo
Altura de Capa	0,2 mm	
Altura de Capa Inicial	0,2 mm	
Ancho de Línea	0,4 mm	
Ancho de Línea de Pared	0,4 mm	
Ancho de Línea Superior/Inferior	0,4 mm	
Ancho de Línea de Relleno	0,4 mm	Calidad
Ancho de Línea de Soporte	0,4 mm	
Ancho de Línea de Capa Inicial	100%	

Parámetro	Valor	Tipo
Espesor de Pared	0,8 mm	
Recuento Líneas de Pared	2	
Rellenar Huecos entre Paredes	En Todas Partes	Paredes
Densidad de relleno	15%	
Distancia de Línea de Relleno	8 mm	
Patrón de Relleno	Cúbico	Relleno
Solapamiento de Relleno	30%	
Espesor Capa de Relleno	0,2	
Temperatura de Impresión	215°C	
Temperatura de Placa	70°C	
Flujo	100%	
Flujo de la Pared	105%	Material
Flujo Primera Capa	100%	
Velocidad de Impresión	40 mm/s	
Velocidad de Relleno	40 mm/s	
Velocidad de Pared	50 mm/s	
Velocidad de Desplazamiento	150 mm/s	
Velocidad de Primera Capa	20 mm/s	Velocidad
Velocidad de Salto Z	5 mm/s	
Número de Capas Lentas	2 capas	
Generar Soporte	Si/No	
Estructura Soporte	Normal	
Lugar de Soporte	Todos los lugares	
Ángulo del Voladizo de Apoyo	45°	
Patrón de Soporte	Líneas	
Cuenta de Paredes Soporte	1 línea	Soporte
Densidad de Soporte	10%	
Distancia Soporte Z	0,2 mm	
Tipo de Adhesión de Placa	Falda	
Líneas de Falda	3 líneas	
Distancia de Falda	10 mm	Placa de Adhesión
Mínima longitud de Falda	250 mm	

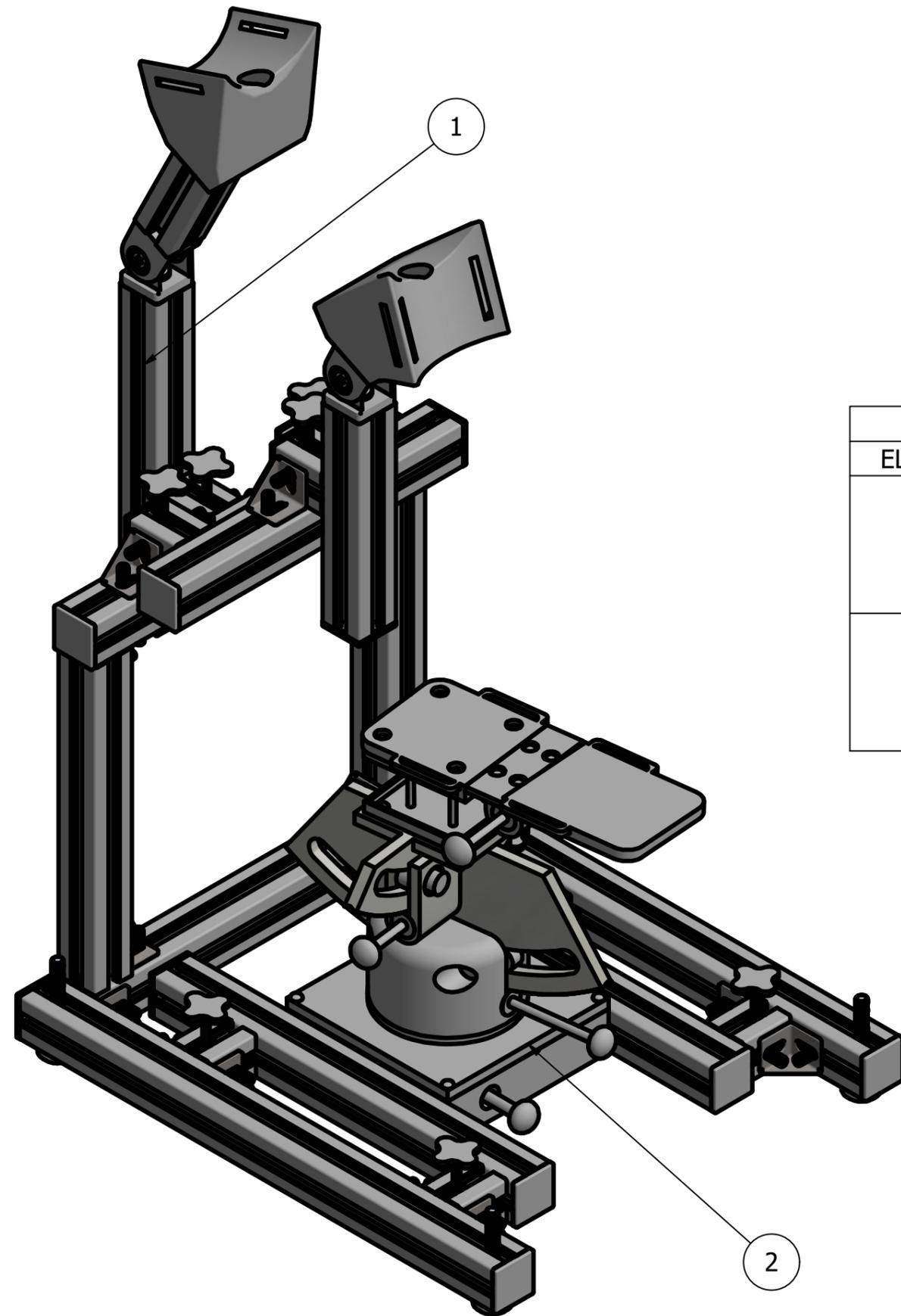
Nota: Se muestran los parámetros genéricos utilizados, aunque pueden existir piezas donde se hayan cambiado parámetros, ya sea por precisión o acabado de la pieza, o por morfología de la misma, teniendo un tipo distinto de adhesión de placa, o distinto tipo de soporte o relleno realizado. Donde se ajustarían los parámetros para obtener la impresión adecuada.

Tabla obtenida por el Software de impresión utilizado Ultimaker Cura.



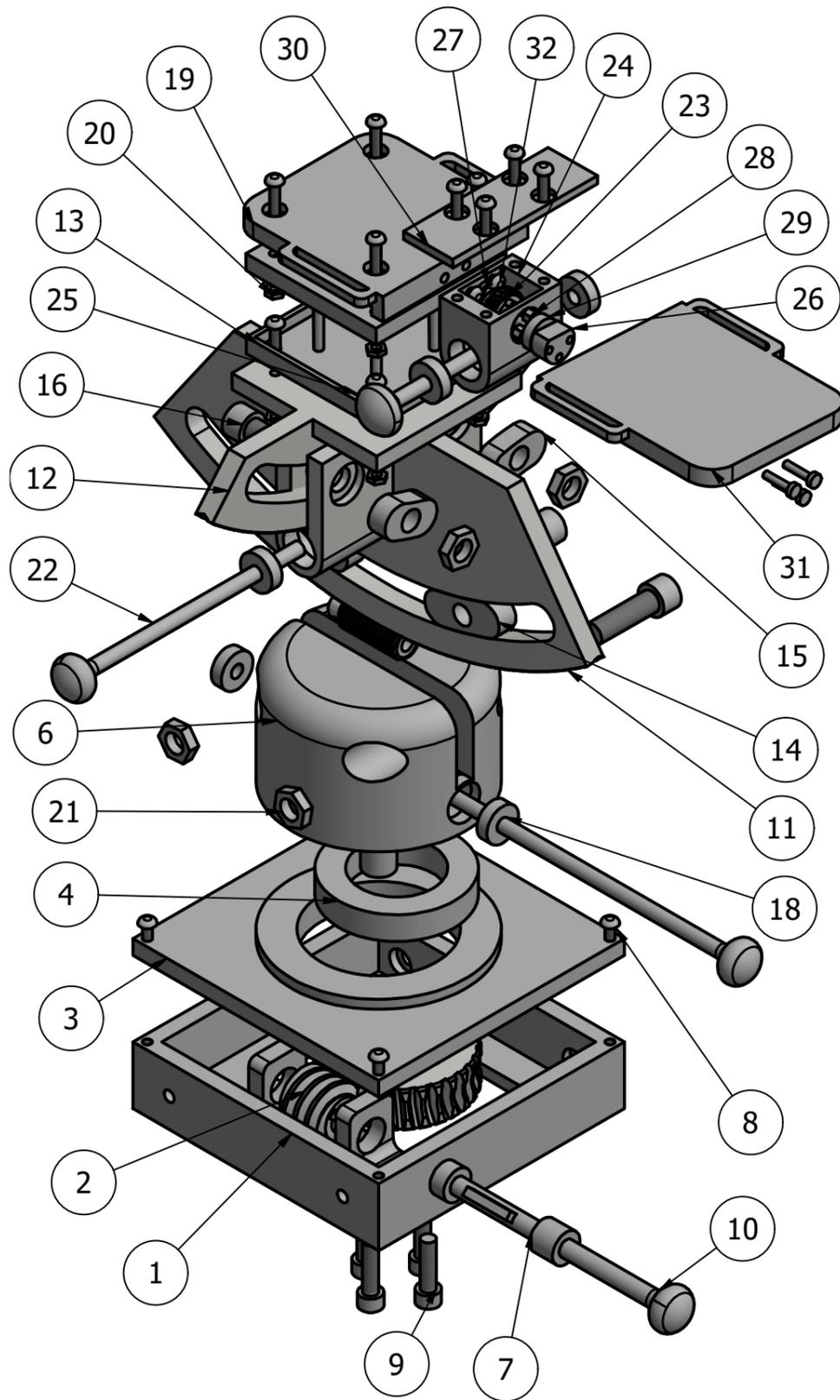
Planos

A continuación, se muestran los planos de despiece de conjunto, así como de todas aquellas piezas no normalizadas fabricadas por impresión 3D, así como sus especificaciones.



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Estructura	Permite fijar el producto en la ubicación exacta, además de fijar pantorrilla y muslo del paciente, alineadamente respecto del producto
2	1	Producto	Permite fijar el pie, y aplicar rotaciones desde el tobillo del paciente en los tres ejes, además de otro grado de libertad en el antepié

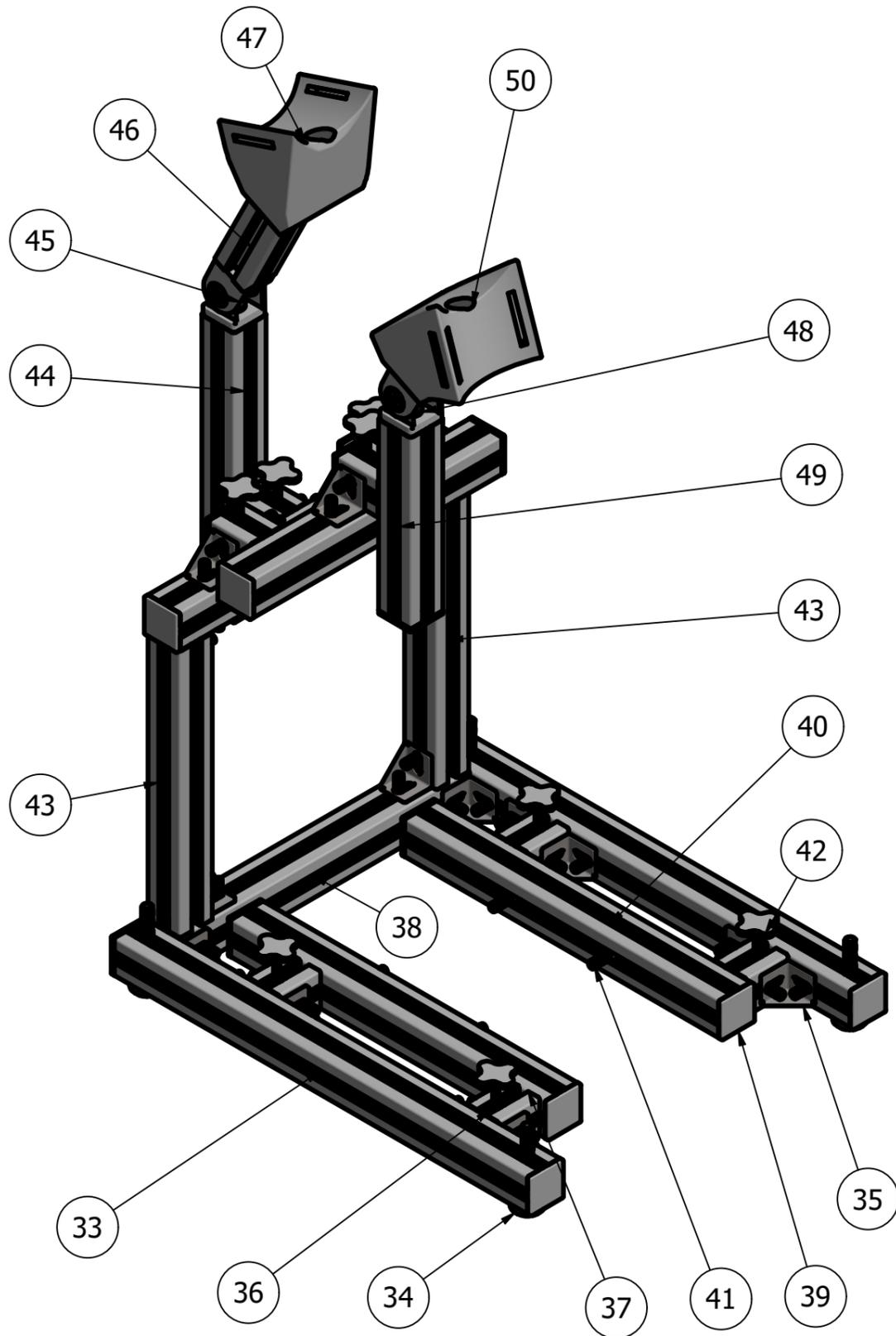
Denominación del plano		Radios no acotados:	Material:	Escala:	Nº de plano:
Despiece conjunto		-	-	1:5	1/14
Título del proyecto	Promotor	Titulación		Fecha	Firma
Posicionador		Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto		Dibujo	Luis Gallego
				Comprobado	Luis Gallego
				23/05/2022	
				09/07/2022	



LISTA DE PIEZAS

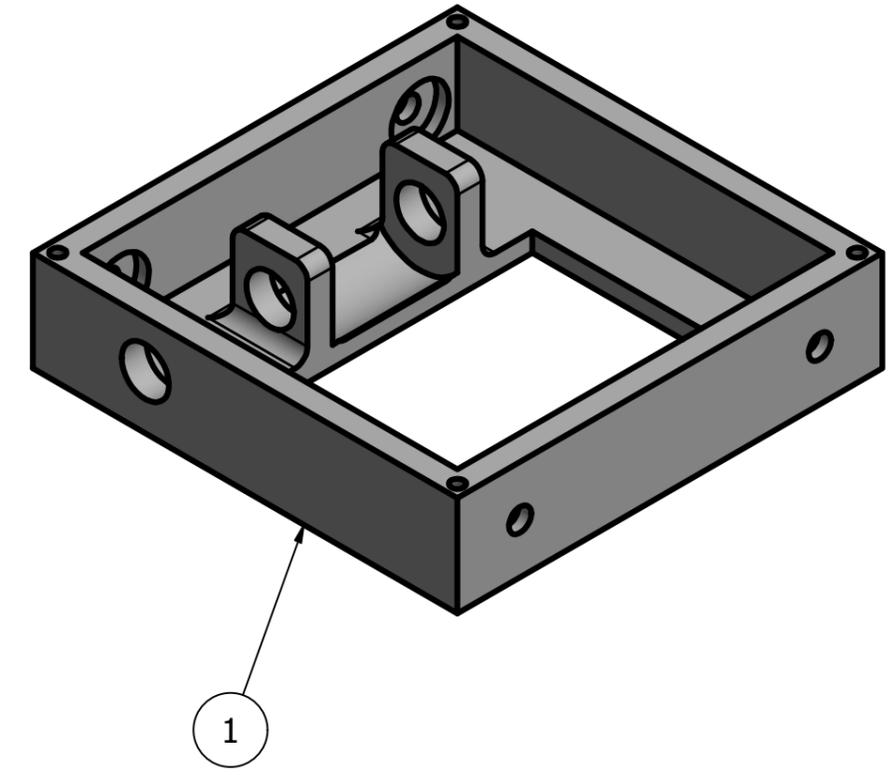
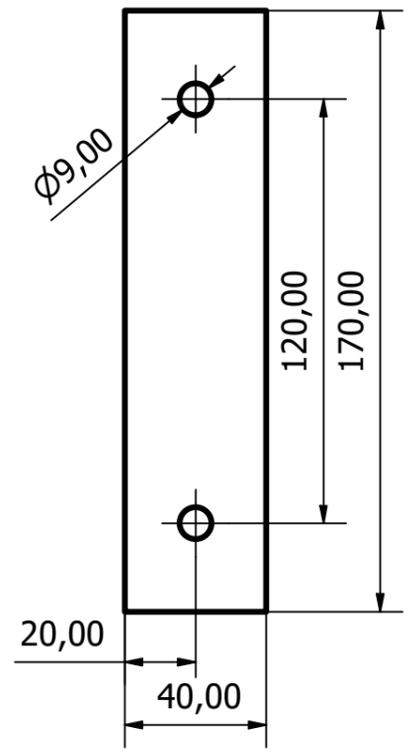
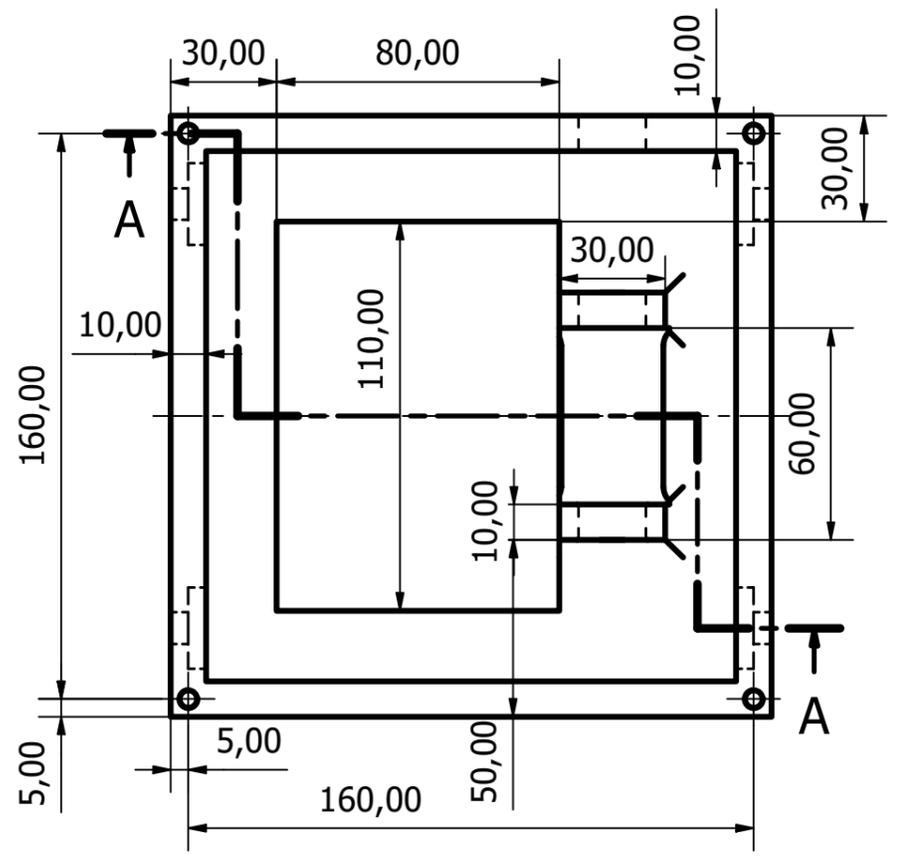
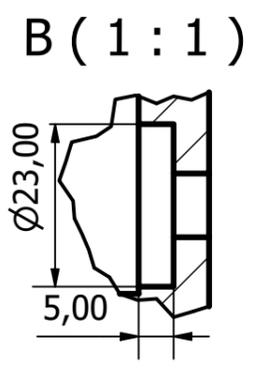
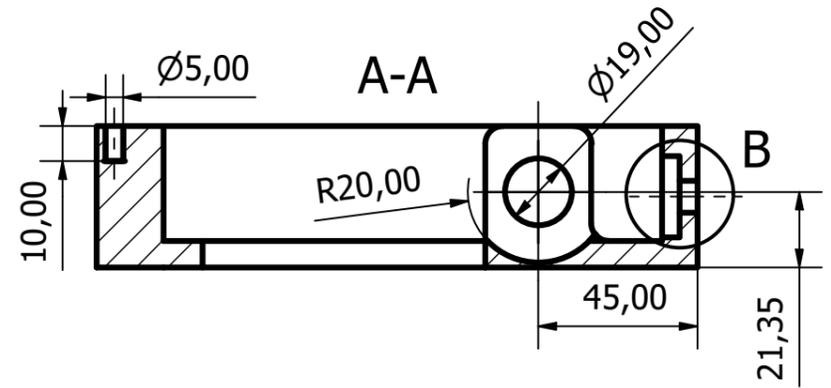
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Base	Impreso en 3D
2	1	Sin fin Rotación Z	Conjuntos de rueda helicoidal de paso derecho eje Z (Cd=40, M=2, Z2=28) (Norelem)
3	1	Tapa	Impreso en 3D
4	1	Rodamiento Rotación Z	Rodamiento Ranurado de bolas (Norelem)
6	1	Rotación Z	Impreso en 3D
7	2	Rodamientos eje inferior	Rodamiento Ranurado de bolas (D=19, d=10) (Norelem)
8	16	Tornillos M5x20	Tornillo cabeza semicircular (Norelem)
9	4	Tornillos M8x30	Tornillo De Cabeza Cilíndrica con hexágono interior (Norelem)
10	1	Eje inferior	Árbol Guía De Precisión (L=150, D=10H6) (Norelem)
11	1	Sin Fín Rotación X	Sin Fín (Cd=31, M=0.75, Z1=3) (Norelem) y la rueda helicoidal realizada en impresión 3D
12	1	Sin Fín Rotación Y	Sin Fín (Cd=31, M=0.75, Z1=3) (Norelem) y la rueda helicoidal realizada en impresión 3D
13	1	Plataforma Desplazamiento Z	Plataforma elevadora de laboratorio, 90x90 mm (Amazon)
14	2	Pasadores eje X	Impreso en 3D
15	2	Pasadores eje Y	Impreso en 3D
16	4	Tornillos M12x40	Tornillo De Cabeza Cilíndrica con hexágono interior (Norelem)
17	6	Rodamientos Rotación X	Rodamiento De Bolas de una fila (D=22, d=8) (Norelem)
18	1	Eje Medio	Árbol Guía De Precisión (L=200, D=8H6) (Norelem)
19	1	Plataforma de apoyo	Impreso en 3D
20	8	Tuerca M5	Tuerca Hexagonal forma baja (M5) (Norelem)
21	4	Tuerca M12	Tuerca Hexagonal forma baja (M12) (Norelem)
22	1	Eje Superior	Árbol Guía De Precisión (L=150, D=8H6) (Norelem)
24	1	SujecciónEjeAntepié	Impreso en 3D
23	1	Sin Fin Rotación Y (Antepié)	Sin Fín y Corona helicoidal (Cd=17, M=1, Z1=3) (Norelem)
29	1	Rodamientos Rotación Y (Antepié)	Rodamiento Ranurado De Bolas de una fila (D=16, d=6) (Norelem)
25	1	Eje Antepié	Árbol Guía De Precisión (L=100, D=8H6) (Norelem)
26	1	Rotación Antepié	Impreso en 3D
27	7	Tornillos M4x18	Tornillo Hexagonal rosca continua (M4x18) (Norelem)
28	4	Tuerca M4	Tuerca Hexagonal con elemento de sujeción (M4) (Norelem)
30	1	Tapa Antepié	Impreso en 3D
31	1	Plataforma Antepié	Impreso en 3D
32	2	Tornillos M5x8	Tornillo cabeza semicircular (M5x8) (Norelem)

Denominación del plano		Radios no acotados:	Material:	Escala:	Nº de plano:
Despiece producto		-	-	1:5	2/14
Título del proyecto	Promotor	Titulación		Fecha	Firma
Posicionador		Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto		Dibujo	Luis Gallego
				Comprobado	Luis Gallego
				23/05/2022	
				09/07/2022	

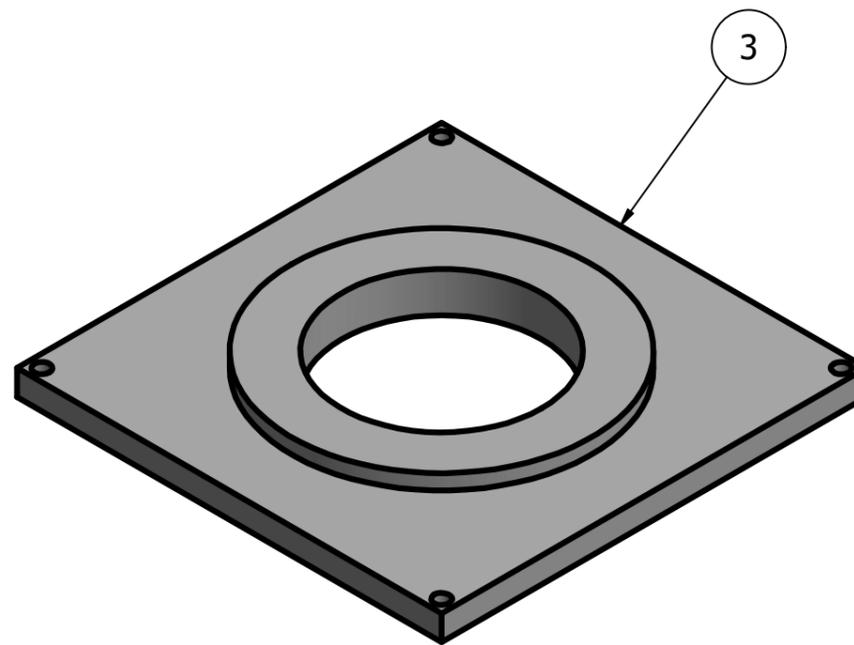
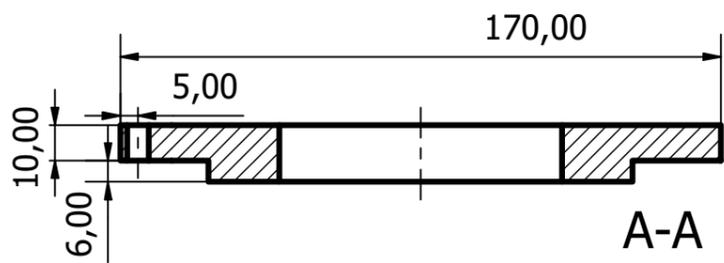
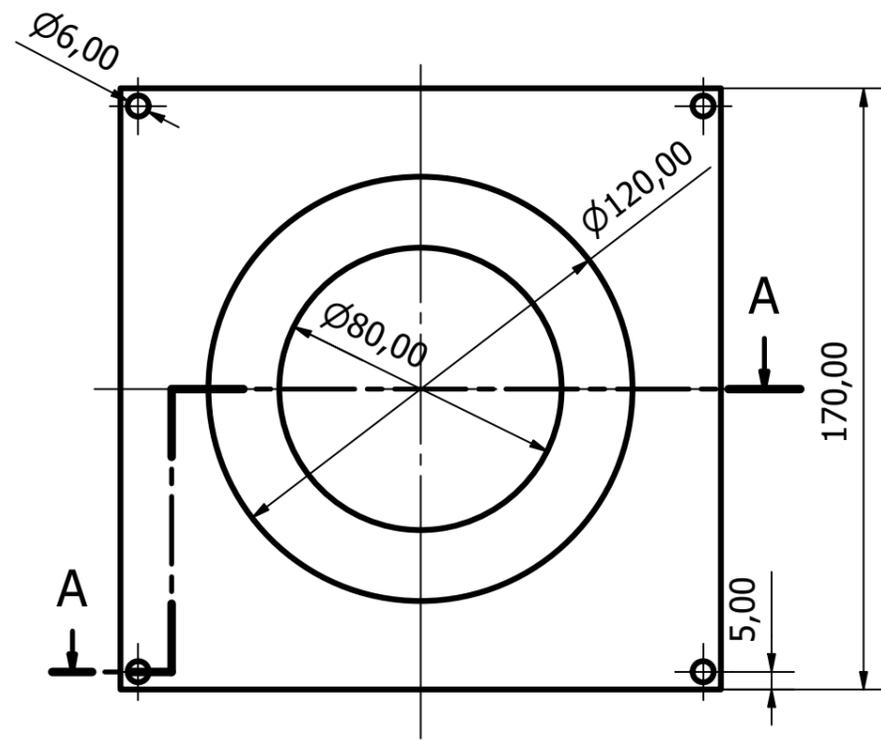


LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
33	2	Perfil básico 40x40 500mm	FASTEN (Ref. 5009)
34	4	Pie base de poliamida Ø30	FASTEN (Ref. 540220645)
35	22	Escuadra 33x33x30 acero zincado	FASTEN (Ref.5305)
36	8	Conector cabeza redonda canal 10mm	FASTEN (Ref. 5350)
37	9	Perfil básico 40x40 50mm	FASTEN (Ref. 5009)
38	2	Perfil básico 40x40 350mm	FASTEN (Ref. 5009)
39	17	Tapeta 40x40	FASTEN (Ref. 5507)
40	2	Perfil básico 40x40 380mm	FASTEN (Ref. 5009)
41	48	Tornillo cabeza martillo + tuerca, canal 10 mm (M8x20)	FASTEN (Ref. 525020)
42	8	ManivelaDesplazamientoY	IMPRESION 3D
43	3	Perfil básico 40x40 320mm	FASTEN (Ref. 5009)
44	1	Perfil básico 40x40 300mm	FASTEN (Ref. 5009)
45	2	Articulación regulable 40x40	FASTEN (Ref. 53246)
46	1	Perfil básico 40x40 150mm	FASTEN (Ref. 5009)
47	1	SujeccionMuslo	IMPRESION 3D
48	6	Tornillo de unión M12x40 Acero Inoxidable	FASTEN (Ref. 536012)
49	1	Perfil básico 40x40 200mm	FASTEN (Ref. 5009)
50	1	SujeccionPantorrilla	IMPRESION 3D

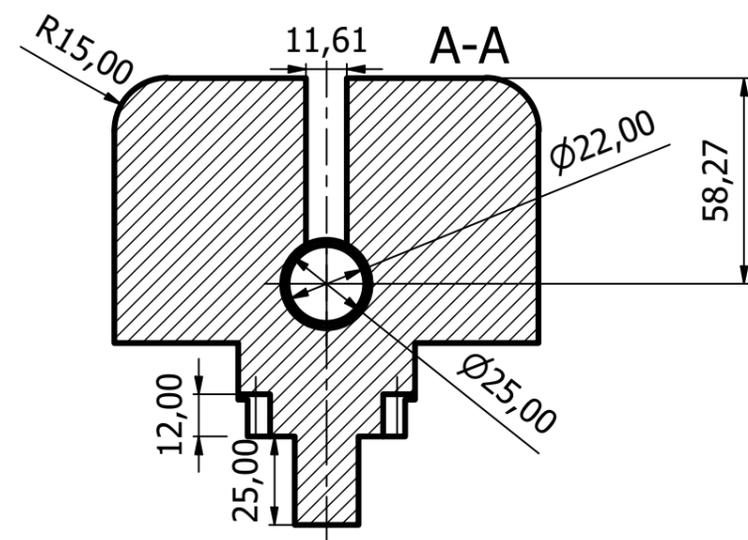
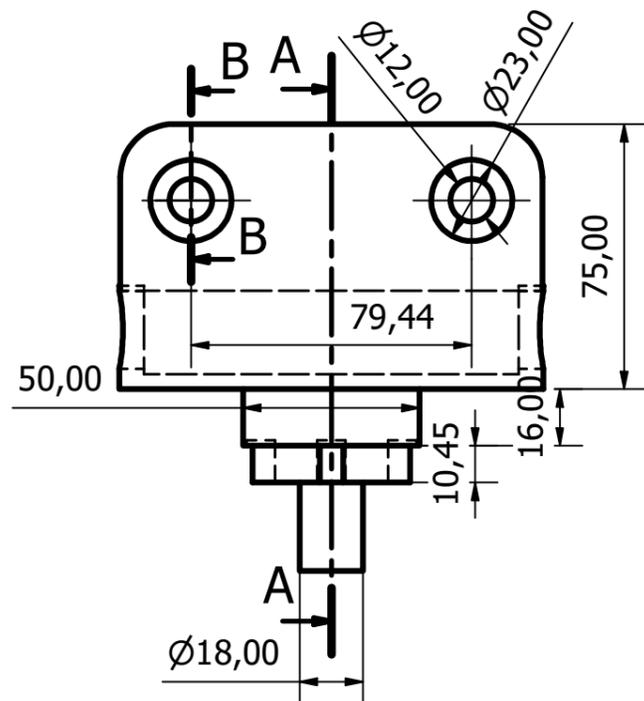
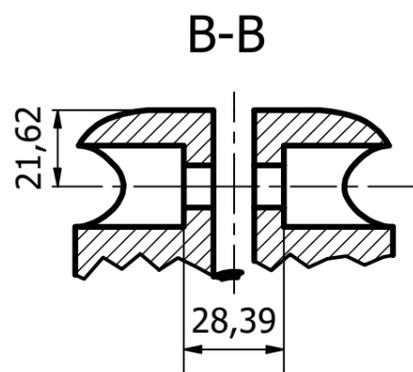
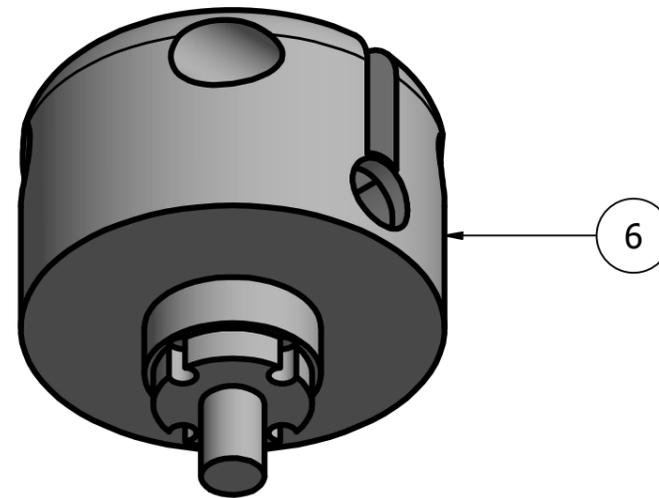
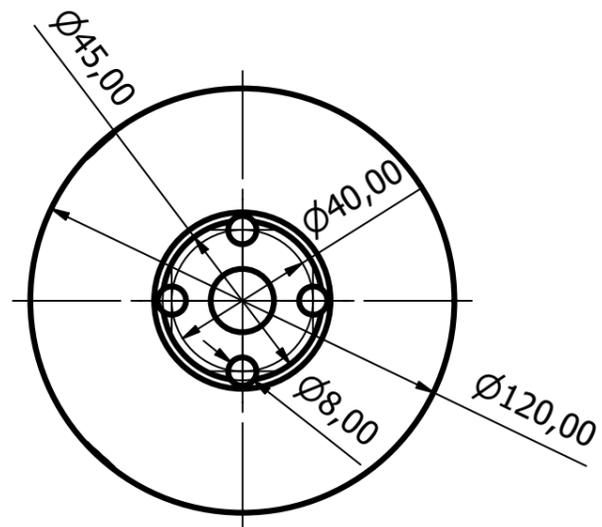
Denominación del plano		Radios no acotados:	Material:	Escala:	Nº de plano:
Despiece estructura		-	-	1:3	3/14
Título del proyecto	Promotor	Titulación		Fecha	Firma
Posicionador		Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto		Dibujo	Luis Gallego
				Comprobado	Luis Gallego
				23/05/2022	
				09/07/2022	



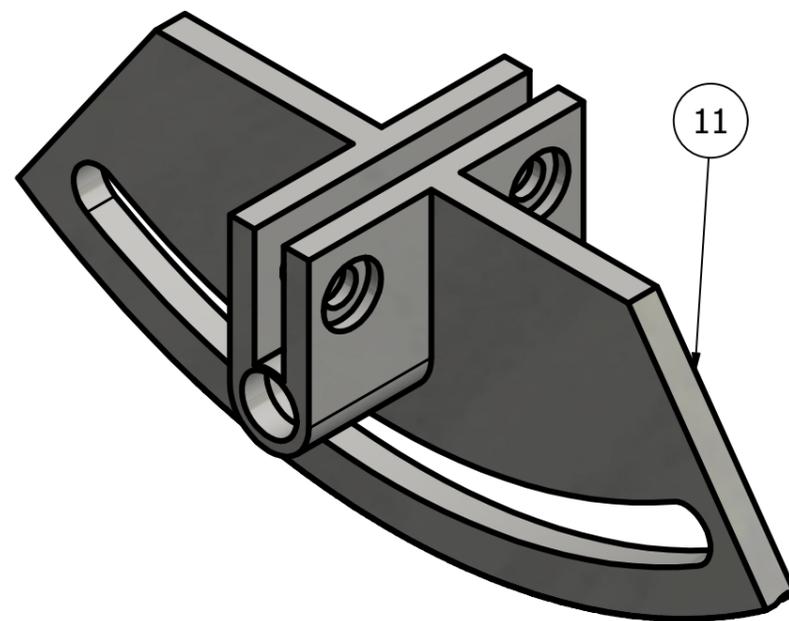
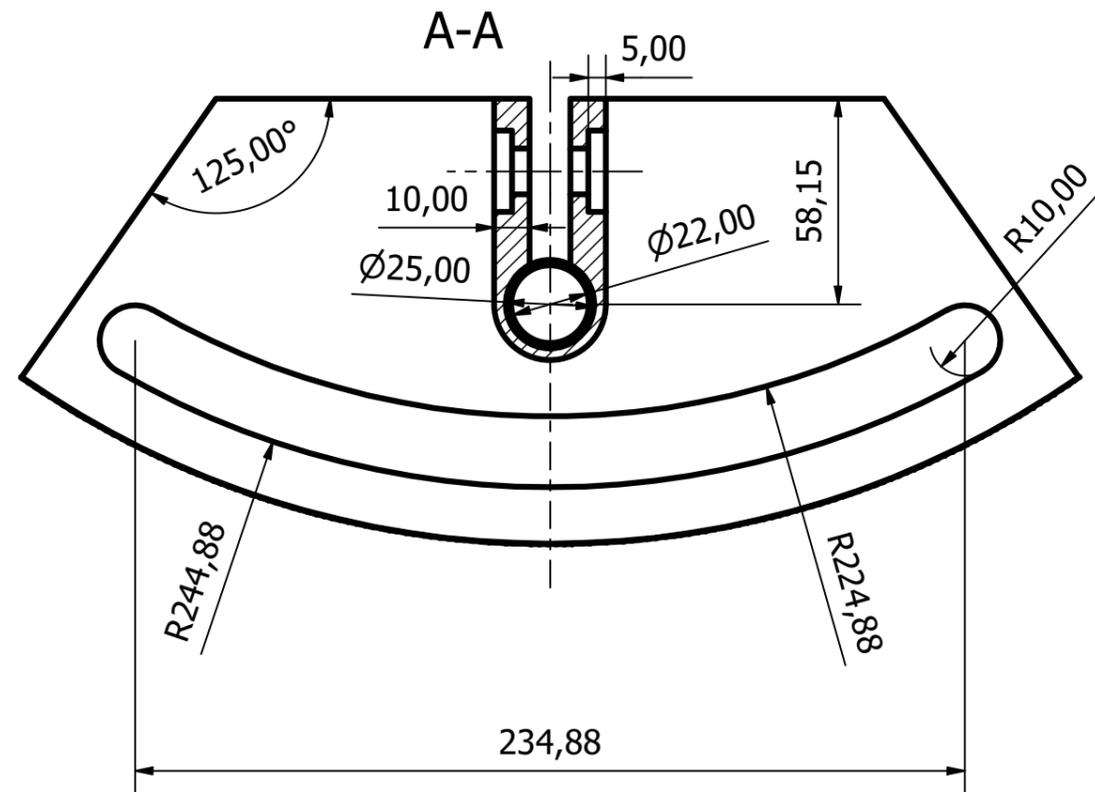
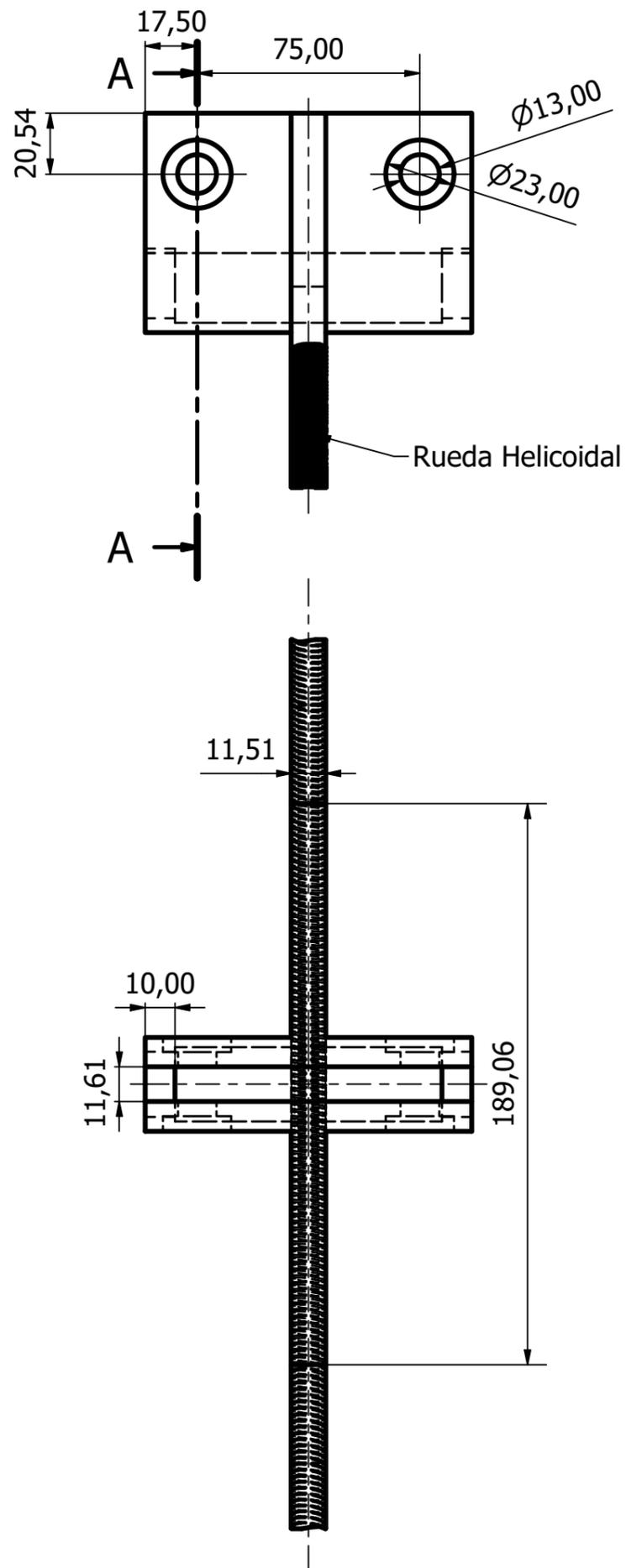
Denominación del plano		Radios no acotados:	Material:	Escala:	Nº de plano:
Base		R5	PLA	1:2	4/14
Título del proyecto	Promotor	Titulación		Fecha	Firma
Posicionador		Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto		Dibujo	Luis Gallego
				Comprobado	Luis Gallego
				23/05/2022	
				09/07/2022	



Denominación del plano		Radios no acotados:	Material:	Escala:	Nº de plano:
Tapa		-	PLA	1:2	5/14
Título del proyecto	Promotor	Titulación		Fecha	Firma
Posicionador		Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto		Dibujo	Luis Gallego
				Comprobado	Luis Gallego
				23/05/2022	
				09/07/2022	

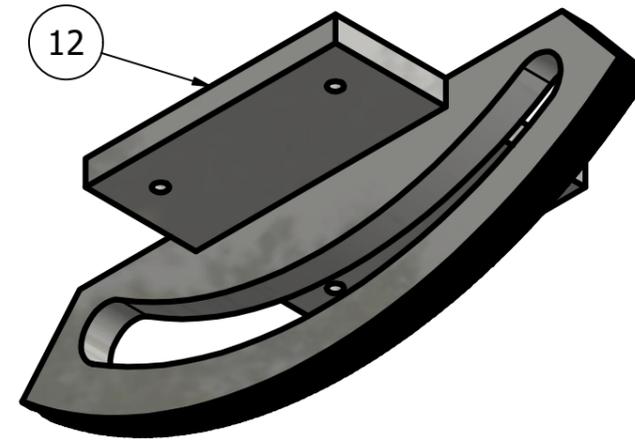
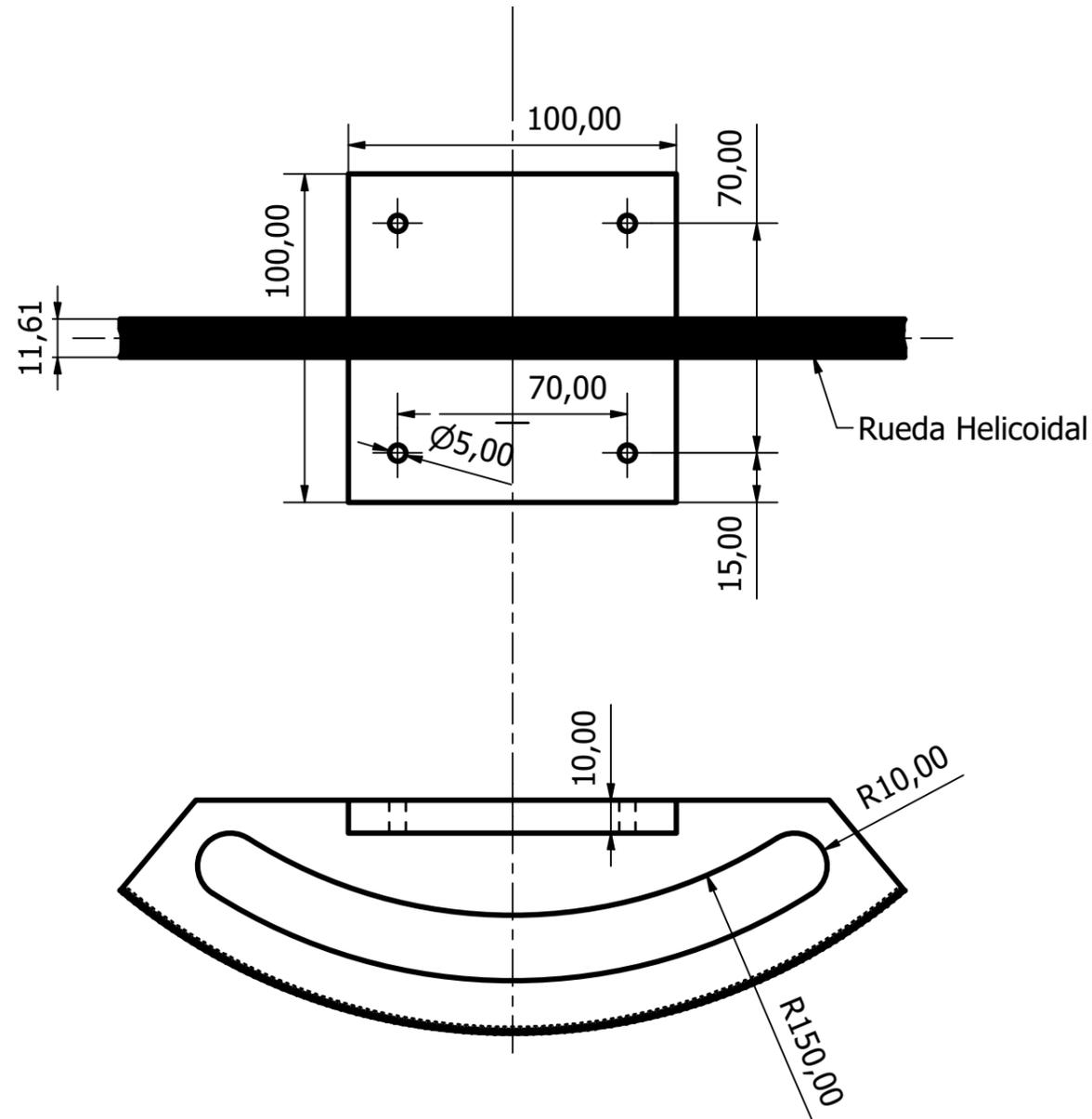


Denominación del plano		Radios no acotados:	Material:	Escala:	Nº de plano:
Rotación eje Z		-	PLA	1:2	6/14
Título del proyecto	Promotor	Titulación		Fecha	Firma
Posicionador		Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto		Dibujo	Luis Gallego
				Comprobado	Luis Gallego
				23/05/2022	
				09/07/2022	



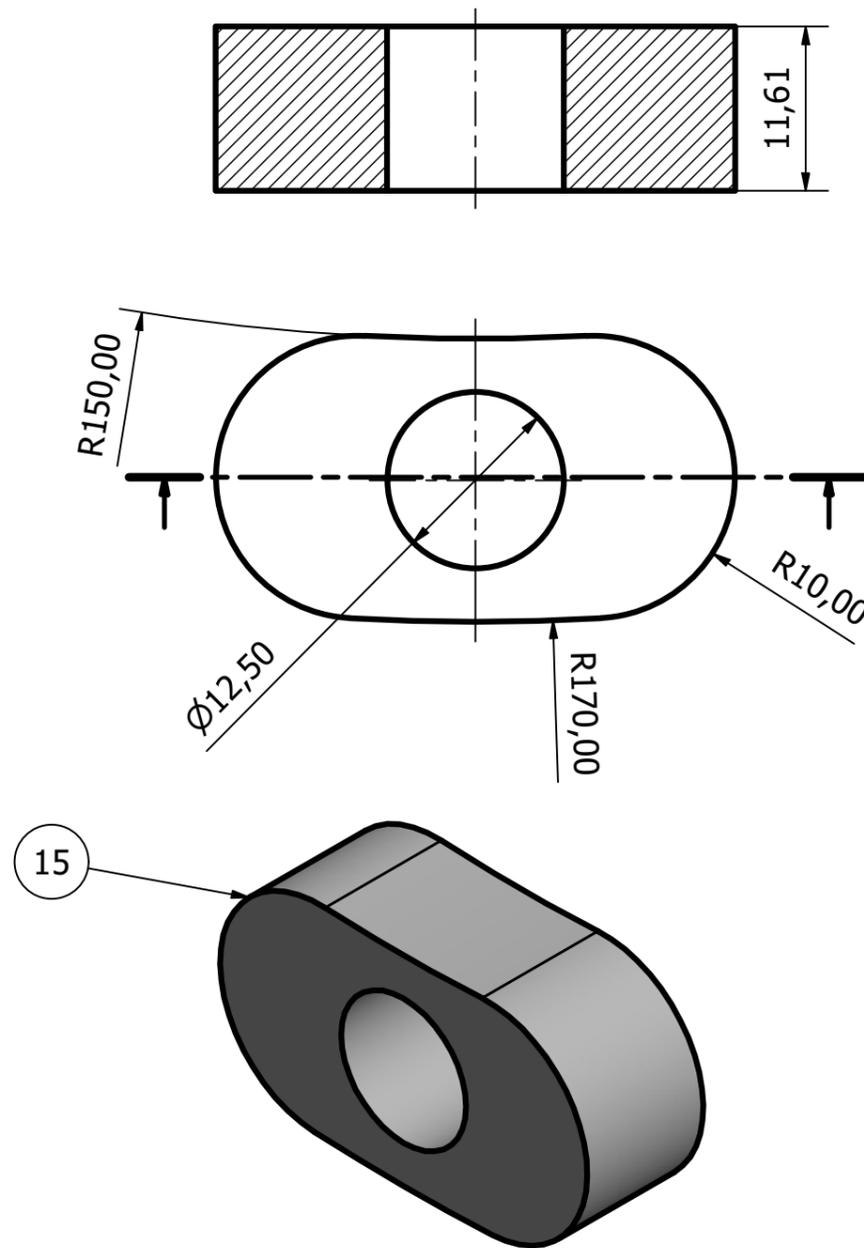
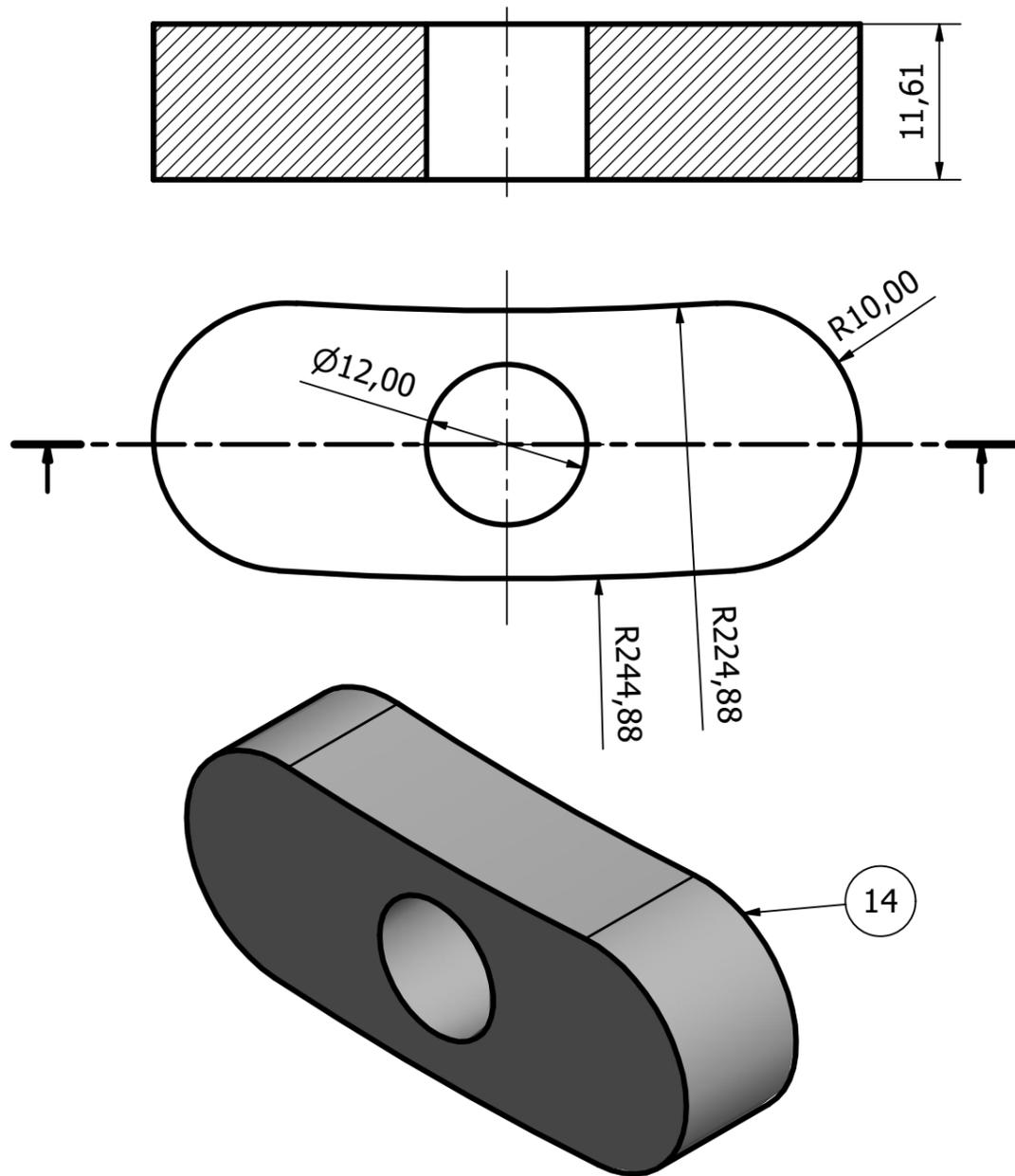
Datos constructivos rueda helicoidal	
Módulo (m)	0,75 mm/dientes
Nº de dientes (Z)	693 dientes
Diámetro primitivo (Dp)	519,75 mm
Distancia entre ejes (Cd)	268,145 mm
Entradas tornillo (Z1)	3 entradas

Denominación del plano	Radios no acotados:	Material:	Escala:	Nº de plano:
Rueda helicoidal Eje X	-	PLA	1:2	7/14
Título del proyecto	Promotor	Titulación	Fecha	Firma
Posicionador		Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto	23/05/2022	Luis Gallego
			Comprobado	09/07/2022
				Luis Gallego

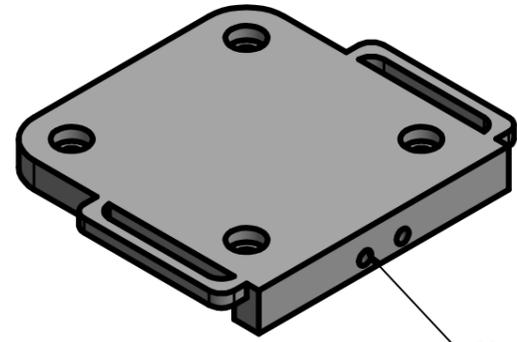


Datos constructivos rueda helicoidal	
Módulo (m)	0,75 mm/dientes
Nº de dientes (Z)	493 dientes
Diámetro primitivo (Dp)	369,75 mm
Distancia entre ejes (Cd)	193,144 mm
Entradas tornillo (Z1)	3 entradas

Denominación del plano		Radios no acotados:	Material:	Escala:	Nº de plano:
Rueda helicoidal Eje Y		-	PLA	1:2	8/14
Título del proyecto	Promotor	Titulación		Fecha	Firma
Posicionador		Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto		Dibujo	Luis Gallego
				Comprobado	Luis Gallego
				23/05/2022	
				09/07/2022	

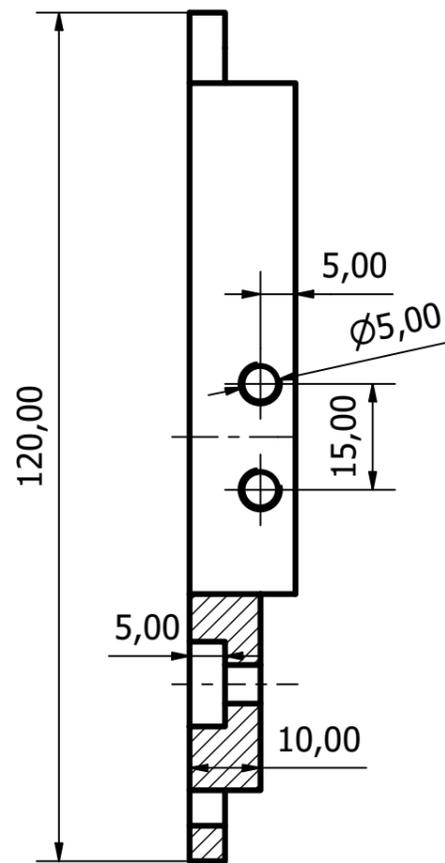


Denominación del plano		Radios no acotados:	Material:	Escala:	Nº de plano:
Pasadores Eje X, Eje Y		-	PLA	2:1	9/14
Título del proyecto	Promotor	Titulación		Fecha	Firma
Posicionador		Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto		Dibujo	Luis Gallego
				Comprobado	Luis Gallego
				23/05/2022	
				09/07/2022	

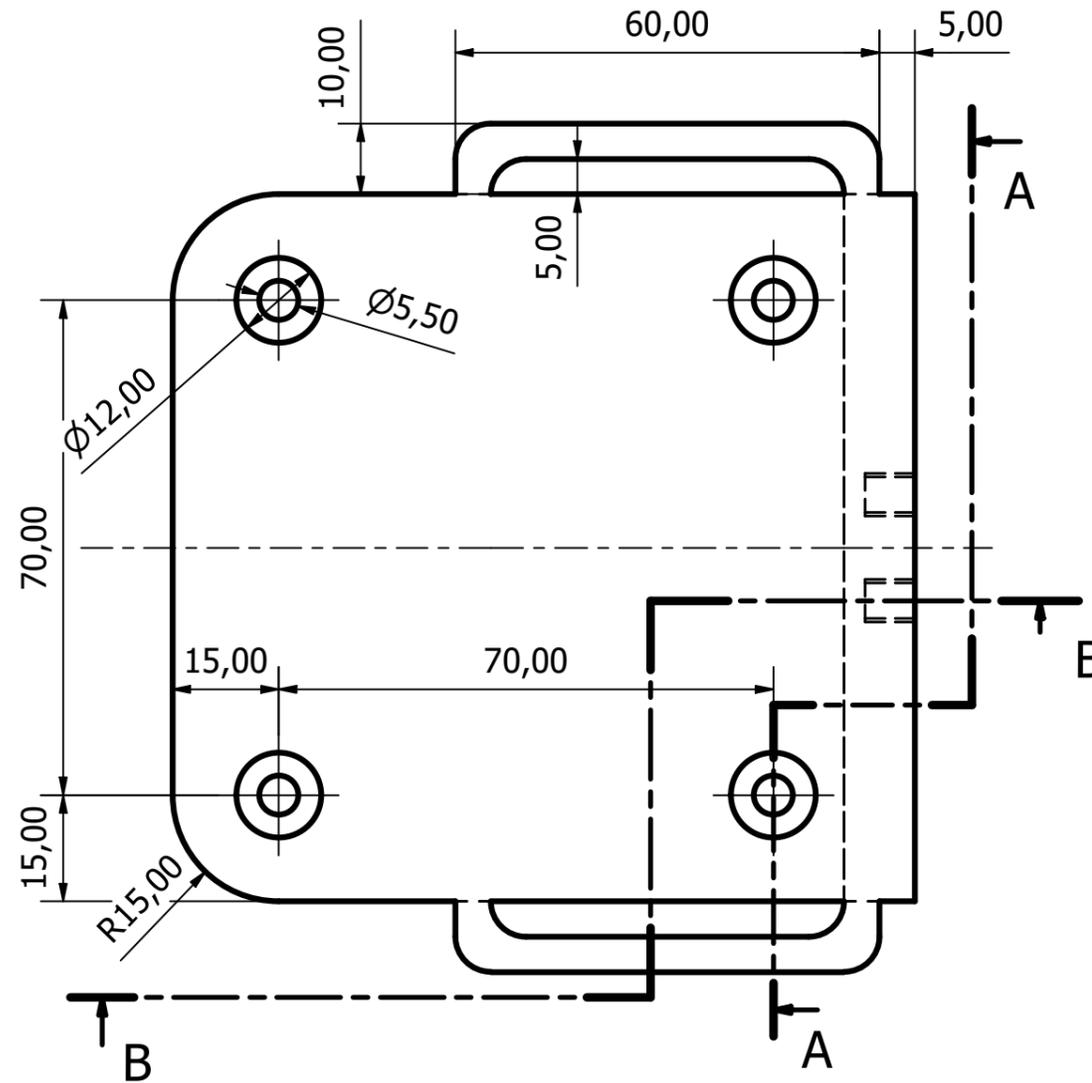
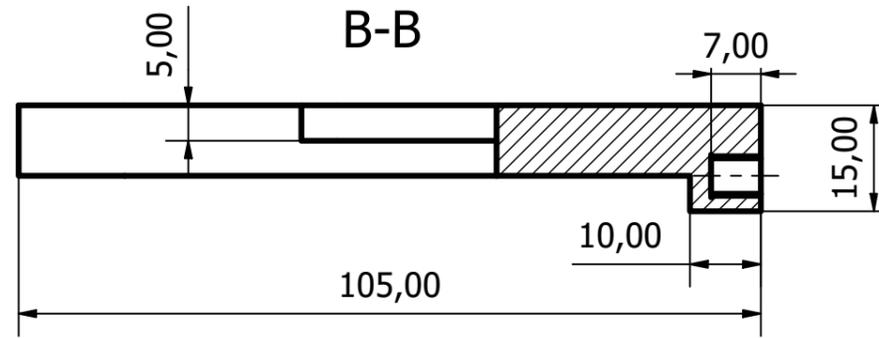


19

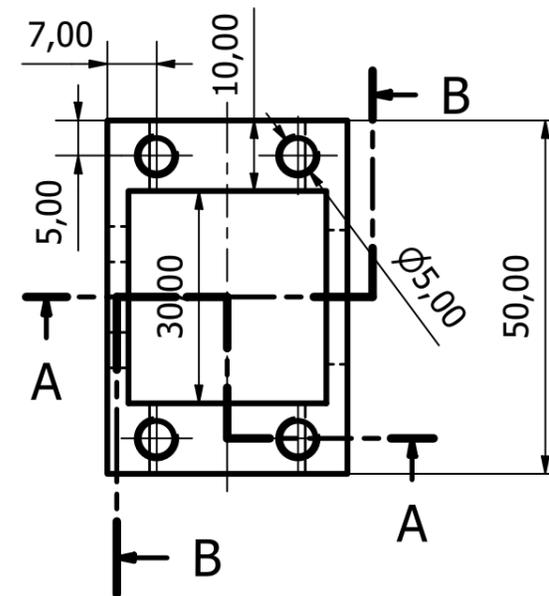
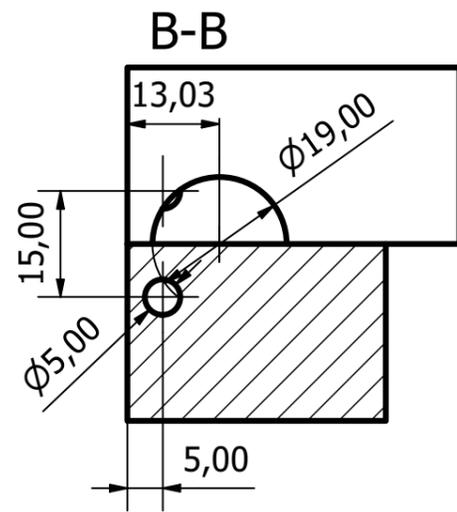
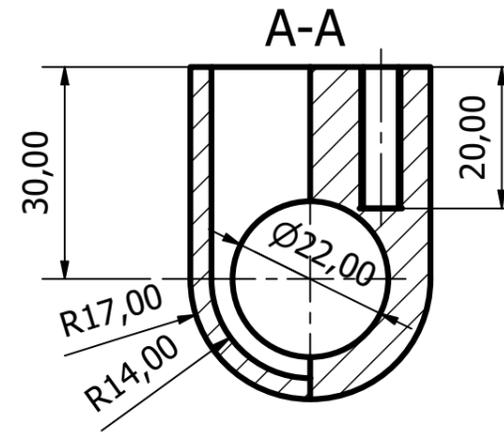
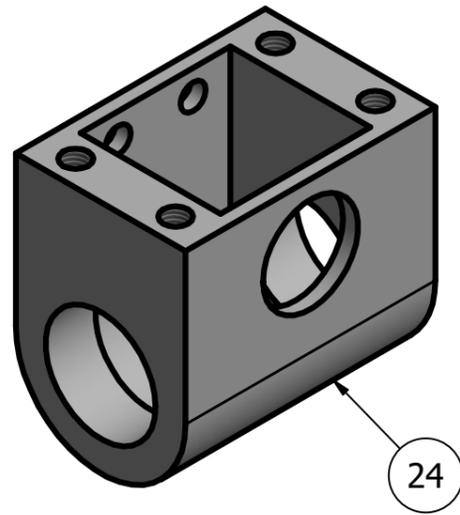
A-A



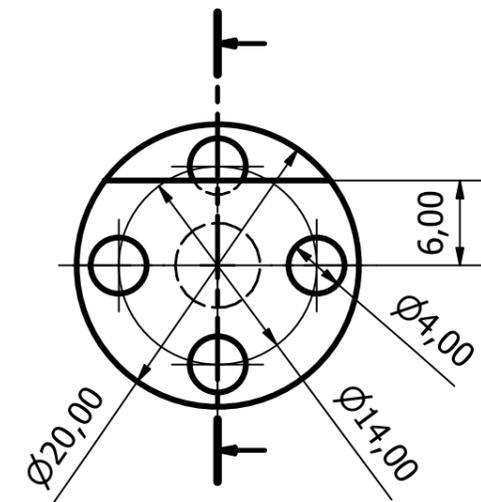
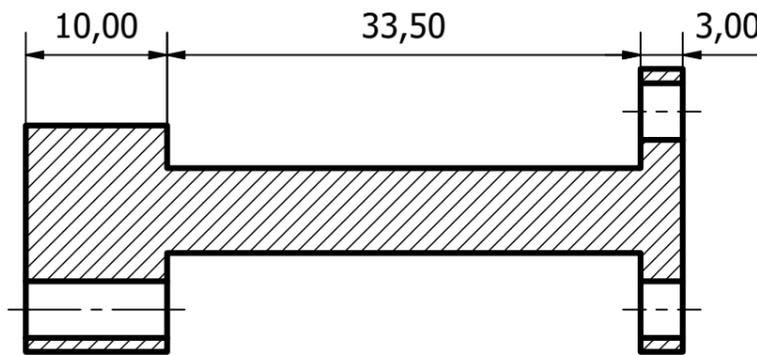
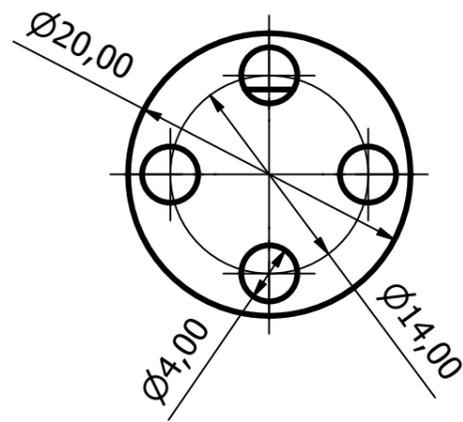
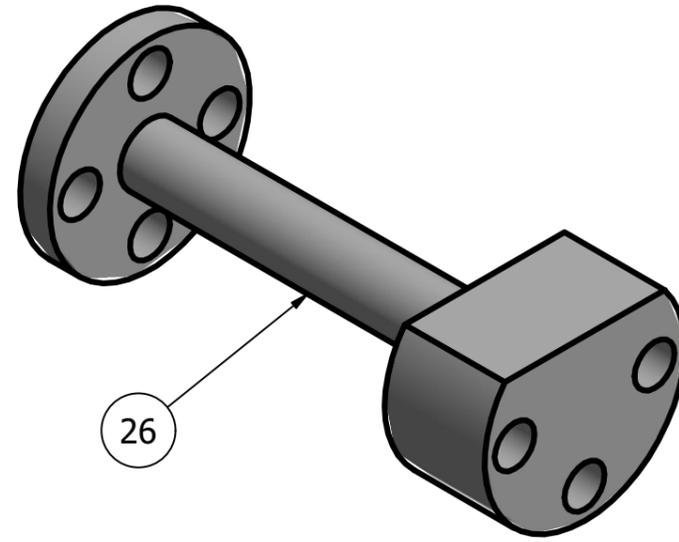
B-B



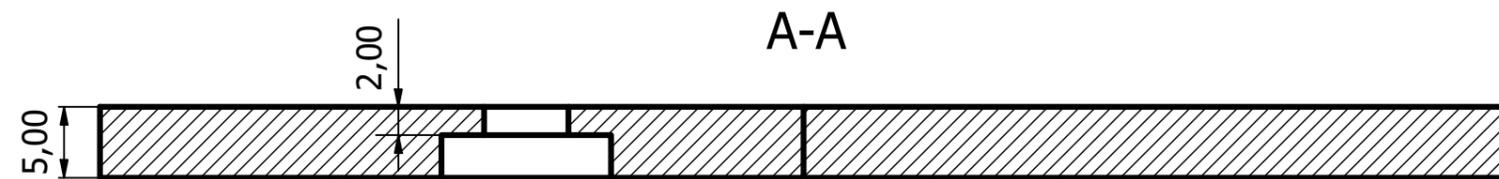
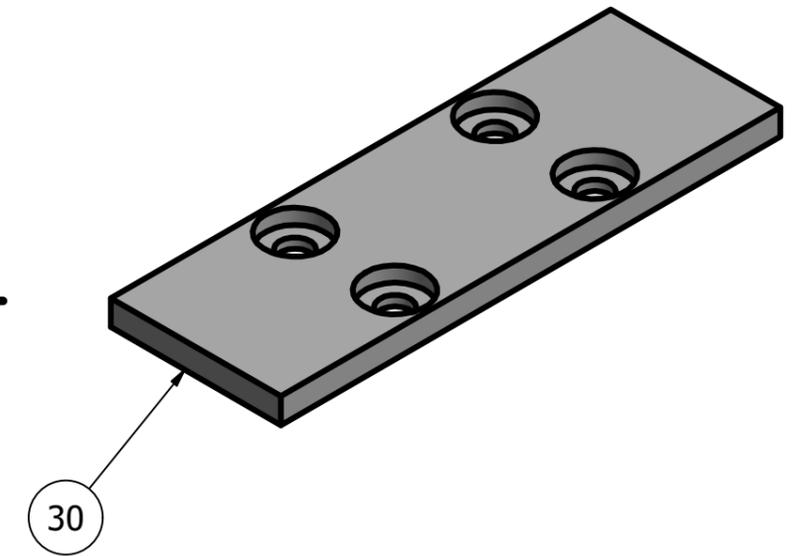
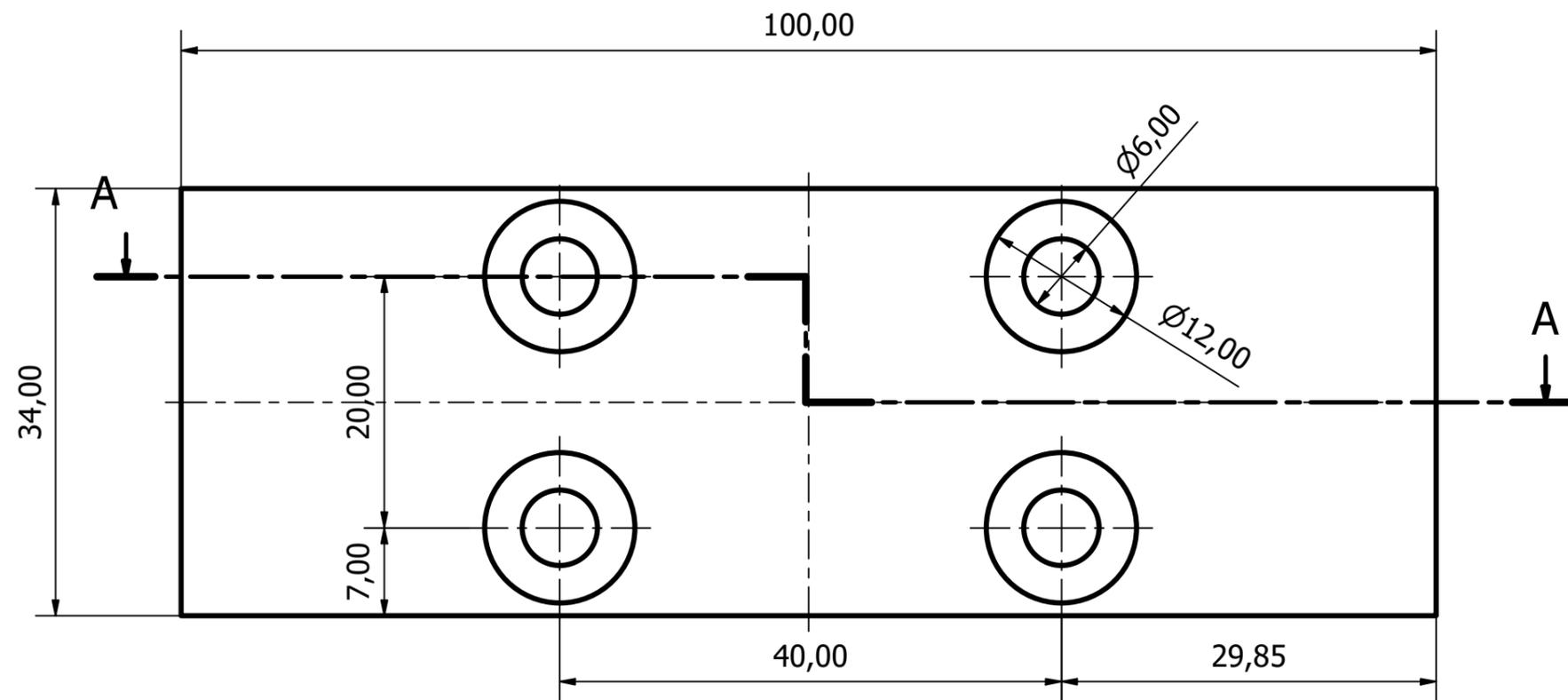
Denominación del plano		Radios no acotados:		Material:		Escala:		Nº de plano:	
Plataforma de apoyo		R5		PLA		1:1		10/14	
Título del proyecto		Promotor		Titulación		Fecha		Firma	
Posicionador				Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto		23/05/2022		Luis Gallego	
						09/07/2022		Luis Gallego	



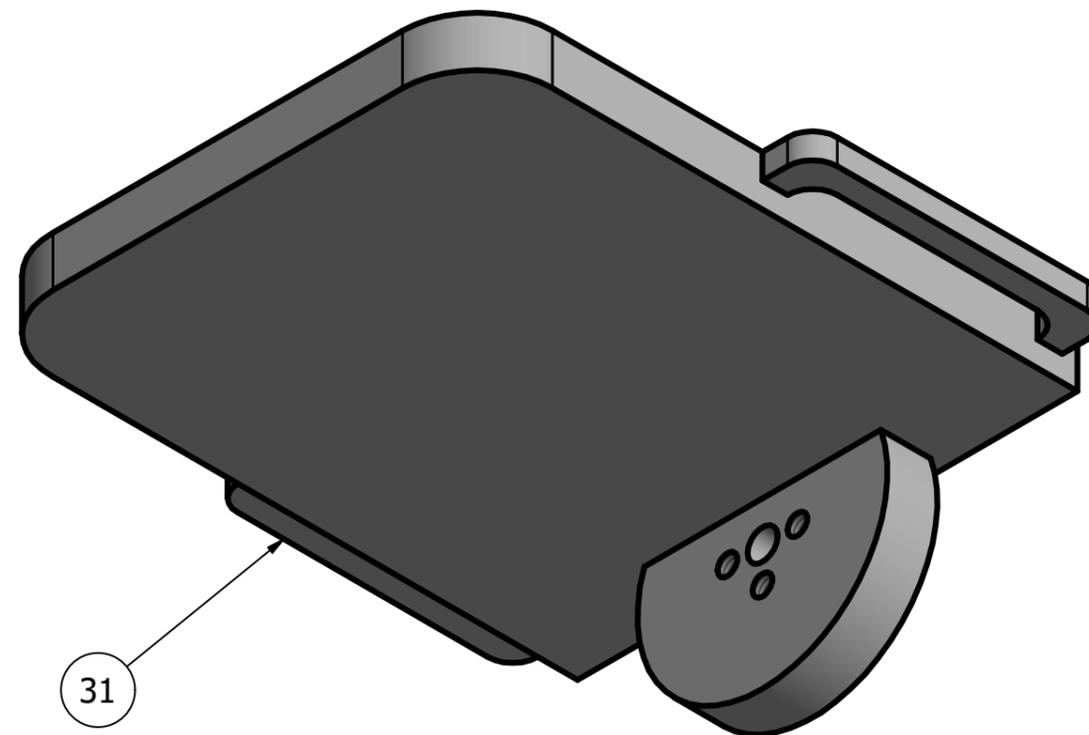
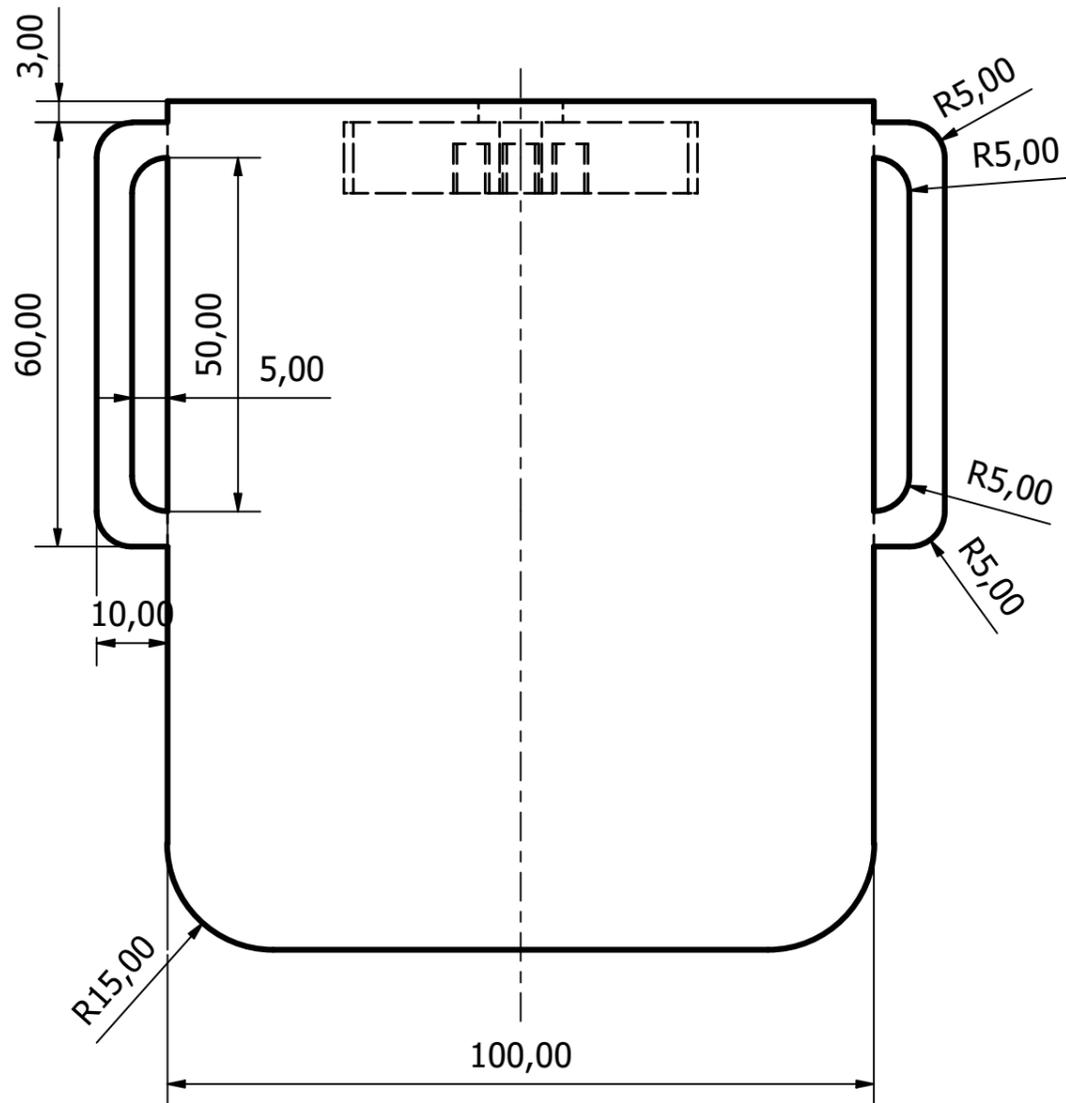
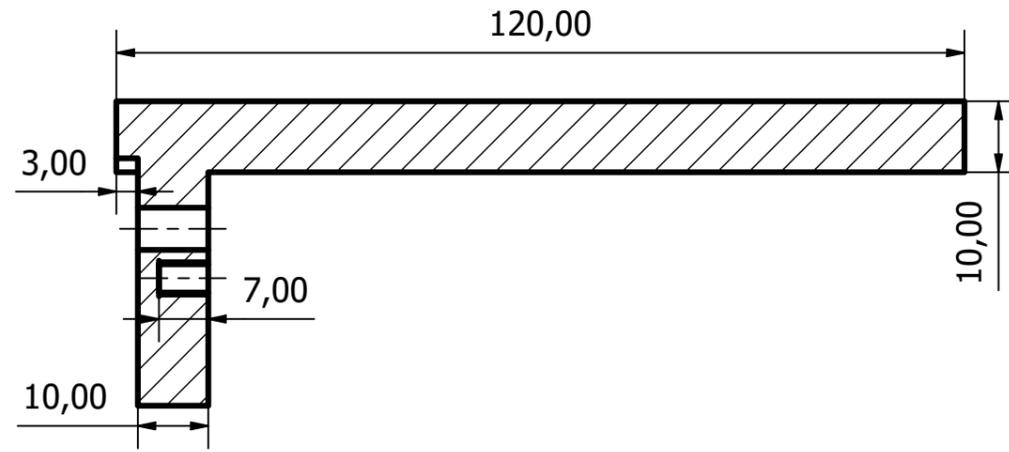
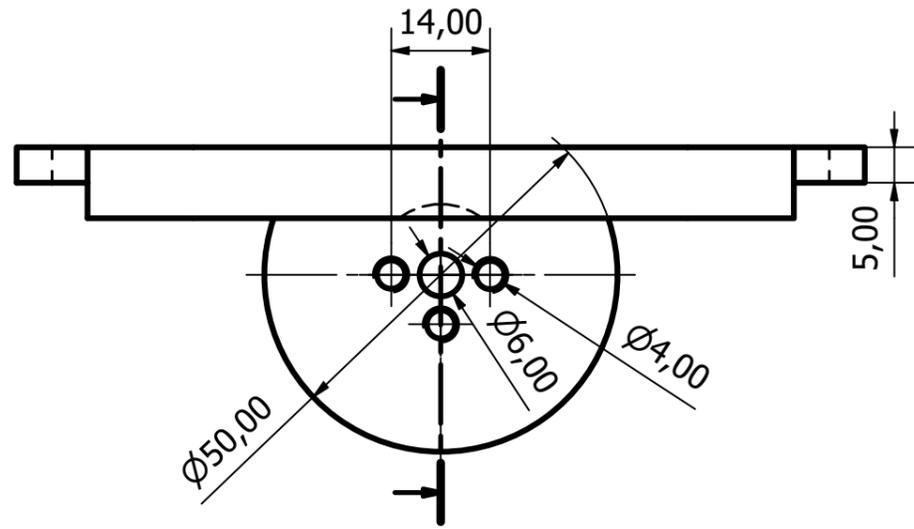
Denominación del plano		Radios no acotados:	Material:	Escala:	Nº de plano:
Sujeción Eje Antepié		-	PLA	1:1	11/14
Título del proyecto	Promotor	Titulación		Fecha	Firma
Posicionador		Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto		Dibujo	Luis Gallego
				Comprobado	Luis Gallego



Denominación del plano		Radios no acotados:		Material:		Escala:		Nº de plano:	
Rotación Antepié		-		PLA		2:1		12/14	
Título del proyecto		Promotor		Titulación		Fecha		Firma	
Posicionador				Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto		Dibujo		Luis Gallego	
						Comprobado		Luis Gallego	
						23/05/2022			
						09/07/2022			



Denominación del plano		Radios no acotados:	Material:	Escala:	Nº de plano:
Tapa Antepié		-	PLA	2:1	13/14
Título del proyecto	Promotor	Titulación		Fecha	Firma
Posicionador		Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto		Dibujo	Luis Gallego
				Comprobado	Luis Gallego
				23/05/2022	
				09/07/2022	



Denominación del plano		Radios no acotados:	Material:	Escala:	Nº de plano:
Plataforma Antepié		R10	PLA	1:2	14/14
Título del proyecto	Promotor	Titulación		Fecha	Firma
Posicionador		Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto		Dibujo	Luis Gallego
				Comprobado	Luis Gallego