

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Diseño de Prótesis de Pie de Fibra de Carbono e Implementación  
con Rodilla Policéntrica para Prótesis Transfemoral**

Mateo Arteaga Jácome

Natanael Calle Vargas

Daniel Santiago Coral Carvajal

José Gabriel García Andrade

**Ingeniería Mecánica**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico

Quito, 20 de mayo de 2024

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

### **Diseño de Prótesis de Pie de Fibra de Carbono e Implementación con Rodilla Policéntrica para Prótesis Transfemoral**

Mateo Arteaga Jácome

Natanael Calle Vargas

Daniel Santiago Coral Carvajal

José Gabriel García Andrade

**Nombre del profesor, Título académico**

Patricio Chiriboga, PhD

Quito, 20 de mayo de 2024

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Mateo Arteaga Jácome  
Natanael Calle Vargas  
Daniel Santiago Coral Carvajal  
José Gabriel García Andrade

Código: 00212786  
00212740  
00211034  
00211322

Cédula de identidad: 1721679122  
1720133410  
1722774930  
1750283465

Lugar y fecha: Quito, 20 de mayo de 2024

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

Se diseñó un pie de prótesis a base de fibra de carbono para completar la prótesis transfemoral comenzada por proyectos anteriores con la rodilla policéntrica y la máquina de sockets, con el objetivo de tener un prototipo completo para uso de la universidad y buscar crear una solución económica para el mercado ecuatoriano.

El pie se modeló como un sistema masa-resorte-amortiguador para recrear la locomoción humana y brindar comodidad a un usuario de 80kg. Se analizó las propiedades del compuesto de fibra de carbono y resina epoxi (CFRP) para el diseño, determinando que la rigidez debe ser de 35 kN/m. Por otro lado, el amortiguador del sistema debe tener una constante de 4000 a 4732 Nm-seg/rad. Se integró toda la prótesis transfemoral con un socket en L para que no amputados puedan probar el prototipo. Se fabricó la prótesis modelando piezas en CAD/CAM, rigiéndose a la norma ISO 24562 para que los acoples sean universales y compatibles comercialmente. El sistema tiene un factor de seguridad de 3.88, con un esfuerzo máximo de 121 MPa. La prótesis de pie tiene un peso de 950g y un costo de \$788 USD. Con el prototipo se realizaron pruebas de caminata para determinar su estabilidad y compararla con una caminata natural. Se evidencia que con la práctica del usuario los pasos se asemejan cada vez más a una caminata natural, y los resultados se asemejan al modelo dinámico. Se hicieron pruebas de calibración del amortiguador neumático y se encontró que el rango ideal está entre los 100 y 180 psi.

**Palabras clave:** Polímero reforzado con fibra de carbono CFRP, Energy Storage and Return ESAR, prótesis transfemoral, rigidez, sistema masa-resorte-amortiguador, rodilla policéntrica, biomecánica, ciclo de marcha.

## ABSTRACT

A carbon fiber-based prosthetic foot was designed to complete the transfemoral prosthesis initiated by previous projects, which included a polycentric knee and a socket machine. The aim was to develop a whole-leg prototype for university use and to create an economical solution for the Ecuadorian market.

The foot was modeled as a mass-spring-damper system to replicate human locomotion and provide comfort for an 80kg user. The properties of the carbon fiber and epoxy resin composite CFRP were analyzed for the design, determining that the stiffness should be 35 kN/m. Additionally, the damper in the system should have a constant between 4000 and 4732 Nm-sec/rad. The complete transfemoral prosthesis was integrated with an L-shaped socket, allowing non-amputees to test the prototype. The prosthetic was manufactured by modeling parts in CAD/CAM, adhering to ISO 24562 standards to ensure universal and commercially compatible fittings. The system has a safety factor of 3.88, with a maximum stress of 121 MPa. The prosthetic foot weighs 950g and costs \$788 USD. Walking tests were conducted with the prototype to assess its stability and compare it to natural walking. It was observed that with user practice, the steps increasingly resembled natural walking, and the results were consistent with the dynamic model. Pneumatic damper calibration tests determined that the ideal range is between 100 and 180 psi.

**Keywords: Carbon Fiber Reinforced Polymer, CFRP, Energy Storage and Return ESAR, transfemoral prosthesis, mass-spring-damper system, polycentric knee, biomechanics, gait cycle.**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. Introducción.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Revisión de Literatura: Biomecánica de locomoción .....</b>	<b>13</b>
1.1.1 Opciones de diseño: estado del arte.....	16
1.1.2 Diseño del Sistema de Control.....	17
1.1.3 Acoplamiento integrado de la prótesis.....	18
<b>1.2 Conceptos de diseño y selecciones.....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 Subsistemas.....</b>	<b>19</b>
1.3.1 Sistema de Bloqueo de Rodilla .....	19
1.3.2 Selección de diseño pie.....	23
1.3.3 Sujeción del Acoplador en el Socket.....	26
<b>1.4 Diseño para implementar.....</b>	<b>27</b>
<b>1.5 Gestión del Proyecto.....</b>	<b>28</b>
<b>1.6 Estándares Ingenieriles.....</b>	<b>31</b>
<b>2. Materiales y Métodos .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1 Diseño de Manufactura y Selección de Materiales .....</b>	<b>32</b>
2.1.1 Piezas Metálicas.....	32
2.1.2 Socket en L.....	34
2.1.3 Sistema de Bloqueo.....	38
2.1.4 Pie de la prótesis (Fibra de Carbono y Resina Epoxi).....	40
2.1.5 Ensamble de Conjunto .....	45
<b>3. Reporte de Diseño .....</b>	<b>46</b>
<b>4. Análisis Ingenieril .....</b>	<b>48</b>
<b>4.1 Pie.....</b>	<b>48</b>
4.1.1 CFRP, Fibra de Carbono y Epoxi .....	48
4.1.2 Planta del Pie .....	49
4.1.3 Rigidez y Geometría de tendones en J.....	53
4.1.4 Pie, simulación y fatiga .....	57
<b>4.2 Análisis del Sistema Dinámico del Pie .....</b>	<b>60</b>
<b>4.3 Sistema de Bloqueo.....</b>	<b>77</b>
<b>4.4 Acople Piramidal .....</b>	<b>87</b>
<b>5. Experimentación Ingenieril y Verificación .....</b>	<b>92</b>
<b>5.1 Ensayo de Tracción del Material.....</b>	<b>92</b>
<b>5.2 Prueba Estática y Estabilidad.....</b>	<b>92</b>
<b>5.3 Pruebas de Ciclo de Marcha y Platos de Fuerza.....</b>	<b>93</b>
<b>6. Resultados, Discusión y Conclusiones.....</b>	<b>94</b>
<b>6.1 Resultados y Discusión.....</b>	<b>94</b>
6.1.1 Ensayo de Tracción .....	94
6.1.2 Estática y Estabilidad .....	96
6.1.3 Prueba de Ciclo de Marcha y Platos de Fuerza .....	96
<b>6.2 Conclusiones.....</b>	<b>101</b>
<b>6.3 Trabajo Futuro.....</b>	<b>103</b>
<b>7. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>105</b>
<b>8. Anexo A: Planos Ingenieriles y Hojas de Procesos.....</b>	<b>107</b>
<b>9. Anexo B: Manejo del Proyecto .....</b>	<b>170</b>
<b>10. Anexo C: Manual de Usuario.....</b>	<b>174</b>

<b>11. Anexo D: Documentación de Progreso .....</b>	<b>184</b>
---	------------

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Subsistemas a evaluar .....	19
Tabla 2 Alternativas Subsistema 1 .....	19
Tabla 3 Evaluación de alternativas .....	22
Tabla 4 Alternativas subsistema 2 .....	23
Tabla 5 Evaluación de alternativas .....	26
Tabla 6 Alternativas subsistema 3 .....	26
Tabla 7 Diagrama de Gantt .....	29
Tabla 8 Costos de manufactura del Pie de Prótesis .....	29
Tabla 9 Costos de Manufactura de Acoples .....	30
Tabla 10 Costos de Manufactura de Socket en L .....	30
Tabla 11 Análisis de Riesos .....	31
Tabla 12 Propiedades de CFRP con tela orientada en la dirección principal del esfuerzo, Vf=50% (Performance Composites, 2009) .....	49
Tabla 13 Valores del sistema dinámico del pie .....	73
Tabla 14 deflexión del tobillo durante la fase de apoyo .....	98
Tabla 15 Fuerzas medidas en Middle Stance y Terminal Stance .....	100



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo de Marcha Completo. Kaur y Sethi (2021).....	14
Figura 2 Distribución de presiones en el pie. Alava (2020) .....	15
Figura 3 Sensores en la planta del pie y presión en esos puntos a lo largo del ciclo de marcha. Lee, Kim y Baek (2021).....	16
Figura 4 Ángulo de la rodilla y potencia media a lo largo del ciclo de marcha. Geng, Yang, Xu, Chen (2012).....	18
Figura 5 Diseño de rodilla con bloqueo de lengüeta.....	20
Figura 6 Lengüeta Interna.....	20
Figura 7 Sistema de bloqueo impreso en 3D .....	21
Figura 8 Pin Clip de bloqueo .....	22
Figura 9 Mecanismo de cuatro barras para el tobillo. Diseño pie policéntrico. (Imran et al., 2023).....	24
Figura 10 Pie de una sola pieza de fibra de carbono. Diseño de pie arqueado.....	24
Figura 11 Diseño de pie láminas cruzadas. Modelos de Referencia. Izq. Modelo Odessey K3 (College Park, 2023), Der. Pie Pathfinder II de WillowWood .....	25
Figura 12 Subsistemas a diseñar. Esquema final .....	28
Figura 13 Piezas metálicas maquinadas en la fresa CNC. Pirámide (izquierda), base del amortiguador (centro), acople de tibia (derecho). .....	32
Figura 14 Diagrama de Procesos para piezas metálicas .....	33
Figura 15 Manufactura del molde de yeso para termoformado. Vendado, alineación y pulido. .....	35
Figura 16 Fabricación del socket. Calentado del plástico en horno, termoformado al vacío, y acople de bandas de sujeción. ....	36
Figura 17. Diagrama de manufactura de socket en L .....	37
Figura 18 Maquinado del sistema de bloqueo .....	38
Figura 19. Diagrama de manufactura del bloqueo metálico .....	40
Figura 20 Fabricación de moldes en 3D y corte de tela de fibra de carbono.....	42
Figura 21 Moldeado de fibra de carbono con resina epoxi.....	43
Figura 22 Maquinado de piezas de CFRP.....	44
Figura 23 Diagrama de manufactura del pie de la prótesis.....	44
Figura 24 Diagrama de ensamble de conjunto.....	45
Figura 25 Prototipo de pie ensamblado. Ensamble en conjunto con rodilla y socket .....	46
Figura 26 Pie Pathfinder II de WillowWood .....	48
Figura 27 Medidas de un pie humano (Hajaghazadeh et al., 2017). Para el modelo se utilizaron las medidas 1, 5, 6, 8, 9, 10, y 12. En referencia a la medida principal 1 de 220mm escalando las demás. ....	50
Figura 28 Esquema de Odessey K3 de College Park (2023), indicando el eje de peso y la elevación para el arco del talón. ....	51
Figura 29 Distribución de presiones medidas en el pie (Alava, 2020). ....	51
Figura 30 Perfil de la planta del pie. ....	52
Figura 31 Diagrama de cuerpo libre del talón .....	52
Figura 32 Perfil del tendón en J. La proyección en violeta muestra la posición máxima de dorsiflexión.....	54
Figura 33 Modelo de viga como resorte y masa en flexión.....	55
Figura 34 Diagrama de cuerpo libre del tendón en J como viga horizontal .....	56
Figura 35 Diseño CAD de las piezas de CFRP del pie.....	57
Figura 36 Esfuerzos en dorsiflexión de las piezas de CFRP .....	58
Figura 37 Vida a Fatiga vs Esfuerzo Máximo (Song, Zang, Duan, & Jiang, 2019).....	59

Figura 38 Componentes del sistema de la prótesis del pie .....	60
Figura 39 Diagrama del sistema con la excitación de base .....	61
Figura 40 Diagrama de cuerpo libre de la masa del sistema de la prótesis del pie.....	62
Figura 41 Función de fuerza que será la entrada al sistema de la prótesis del pie.....	63
Figura 42 Diagrama base a utilizar en Simulink para resolver el sistema .....	64
Figura 43 Función de fuerza cuadrículada para obtener puntos coordenados .....	65
Figura 44 Función de Fuerza de entrada para el sistema .....	65
Figura 45 Código utilizado para obtener las coordenadas horizontales del tiempo de paso ...	66
Figura 46 Gráfica de la función de fuerza obtenida en Signal Editor.....	67
Figura 47 Código utilizado para crear los datos de 4 pasos.....	68
Figura 48 Gráfica de la función de fuerza de 4 pasos en Signal Editor.....	69
Figura 49 Diagrama del sistema en Simulink .....	69
Figura 50 Diagrama del sistema con valores para cada variable en Simulink.....	70
Figura 51 Respuesta del sistema dado el valor de la constante de amortiguamiento según la literatura .....	70
Figura 52 Respuesta del sistema según el valor de la constante de amortiguamiento propuesto .....	71
Figura 53 Respuesta críticamente amortiguada del sistema .....	73
Figura 54 Código para observar la respuesta del sistema con una entrada igual a la frecuencia natural.....	75
Figura 55 Función de fuerza para con la frecuencia natural del sistema .....	76
Figura 56 Diagrama de bloques para la simulación del sistema con una entrada igual a su frecuencia natural .....	76
Figura 57 Respuesta del sistema con una entrada igual a su frecuencia natural.....	77
Figura 58 Vista interior del anclaje posterior (Rodilla Policéntrica).....	78
Figura 59 Tope de policarbonato (ancla del sistema). .....	78
Figura 60 Vista interior del sistema de lengüeta rígida horizontal. ....	78
Figura 61 Vista del pin interior del anclaje posterior (Rodilla Policéntrica). ....	79
Figura 62 Ensamble del Sistema de Bloqueo. ....	80
Figura 63 Diagrama de cuerpo libre del pin.....	80
Figura 64 Diagrama de cuerpo libre aislado de la sección inclinada del pin.....	81
Figura 65 Diagrama de momento flector para la sección inclinada de la figura 7. ....	81
Figura 66 Corte para el cálculo de la deflexión. ....	84
Figura 67 Simulación de deflexión de la pieza. ....	86
Figura 68 Simulación de los esfuerzos sobre la pieza. ....	86
Figura 69 Simulación de los esfuerzos sobre el tope de policarbonato. ....	87
Figura 70. Diseño CAD de la pirámide del tobillo .....	88
Figura 71 Diagrama de cuerpo libre para la pirámide .....	89
Figura 72. Pirámide y base piramidal .....	90
Figura 73. Pirámide y base piramidal .....	90
Figura 74 Esfuerzos en la pirámide .....	90
Figura 75 Diagrama Esfuerzo-Deformación del CFRP .....	94
Figura 76 Probeta de CFRP en falla de tracción.....	95
Figura 77 Datos obtenidos de OneStep.....	96
Figura 78 Posicionamiento de marcadores y pruebas de caminata.....	97
Figura 79 Motion Capture de caminatas con prótesis en la pierna izquierda .....	97
Figura 80 Desplazamiento Z-Y del tobillo en de prótesis durante la fase de apoyo .....	98
Figura 81 Promedio de posiciones del tobillo en la fase de apoyo.....	99
Figura 82 Respuesta dinámica del sistema en Simulink.....	99
Figura 83 Mediciones de fuerza de reacción en caminata .....	100

## 1. INTRODUCCIÓN

Según el INEC, la discapacidad física es el tipo de discapacidad número uno en el Ecuador, con 215,706 personas afectadas, 40% de estos pertenecientes a la población económicamente activa entre los 19 y 50 años (2024). Dadas las limitantes que se generan al tener una discapacidad física, es importante tener soluciones viables para poder sobrellevar el problema. Y es que en Ecuador actualmente no se fabrican todos los componentes de prótesis de piernas, lo cual conlleva a la necesidad de importar estas partes faltantes o la prótesis completa, lo que implica un costo elevado que muchas personas con esta discapacidad no pueden pagar.

El departamento de Ingeniería Mecánica de la USFQ desarrolló el anterior semestre una prótesis de rodilla policéntrica como uno de los proyectos integradores para empezar a solucionar esta problemática. Como discusión del proyecto anterior, se determinó que la rodilla es muy liviana: debería tener más masa para simular de mejor manera una rodilla real, y falta un sistema de bloqueo que mantenga la pierna estirada al momento de dar el paso. La prótesis no cuenta actualmente con un pie que pueda ser integrado para tener un prototipo completo, por lo que la rodilla por sí sola no tiene uso actualmente. El desarrollo de este proyecto busca por tanto solucionar estos dos problemas, tanto social como técnico.

Las prótesis actuales están experimentando una notable evolución al incorporar mecanismos de control en sus componentes mecánico, con el objetivo de lograr un caminar más natural y menos intrusivo para el resto del cuerpo. Este enfoque se centra en la integración de tecnologías que permiten una adaptación dinámica a los movimientos del usuario, emulando de manera más fiel los patrones de marcha naturales. Al afinar la interacción entre la prótesis y el usuario a través de sistemas de control avanzados, se busca no solo mejorar la estabilidad y eficiencia del caminar, sino también reducir las implicaciones biomecánicas en las partes restantes del cuerpo. Este avance representa un paso significativo hacia la consecución de

prótesis que no solo restauran la funcionalidad, sino que también promueven una experiencia de movilidad más holística y armoniosa.

Con base en la problemática planteada anteriormente, se va a desarrollar una prótesis de pie, donde se va a optimizar precios para que sea de accesibilidad económica para el mercado ecuatoriano. Para el diseño del pie se implementará un sistema de control que amortigüe el paso para reducir el esfuerzo realizado por el usuario, buscando una movilidad más estable en actividades dinámicas. Por otro lado, en este proyecto se busca integrar la prótesis de pie transfemoral a la rodilla policéntrica ya existente en la universidad, junto a un socket que sea manufacturado con la máquina de termo conformado también diseñada y fabricada anteriormente, para así tener un prototipo completo de prótesis transfemoral. Debido a la ligereza de la rodilla policéntrica, se buscará aumentar la masa del prototipo, haciendo un análisis en el diseño para implementar también un sistema de bloqueo que permitirá que la rodilla se mantenga estirada al momento de dar un paso para dar más estabilidad al usuario.

Para la creación de una prótesis de pierna, se consideran varios aspectos importantes. En primer lugar, se estudia el ciclo de marcha para comprender las necesidades específicas durante diferentes fases del movimiento. Simultáneamente, se determina las presiones y esfuerzos máximos en la planta del pie, proporcionando datos fundamentales para el diseño biomecánico. El proceso de manufactura será desarrollado con la maquinaria de los laboratorios y los profesores de la USFQ, además de la colaboración con la Fundación Hermano Miguel, quienes cuentan con un laboratorio optimizado para la construcción de prótesis, además de la experiencia suficiente para el desarrollo de estas. La construcción se regirá por los estándares establecidos en la norma ISO 10328, asegurando estabilidad y seguridad al usuario. Para los acoples entre componentes se utiliza la norma ISO 24562 para tener un diseño estandarizado. Además, para lograr un movimiento más natural al caminar, se integra un sistema de control, mejorando la eficiencia y la fluidez de la marcha. Finalmente,

se elabora un manual detallado que abarca el uso, mantenimiento y cuidados de la prótesis, garantizando una experiencia completa y segura para el usuario. Estos elementos, considerados de manera integral, contribuyen a la creación de una prótesis funcional y personalizada.

### **1.1 Revisión de Literatura: Biomecánica de locomoción**

Para comprender el problema de diseño es necesario familiarizarse con el ciclo de marcha para la locomoción humana. Kaur y Sethi (2021) señalan que el ciclo comienza cuando el talón se asienta y continúa hasta que el mismo talón se asienta de nuevo para el próximo paso. El ciclo puede subdividirse también en dos fases, de apoyo y oscilación. La tabla a continuación describe a detalle el ciclo de marcha.

TABLE I  
TERMS ASSOCIATED WITH GAIT CYCLE AND PHASES

Terminology	Description
Heel Strike	The point when initial contact with the ground is made
Loading response	Initial double support stance period
Mid-stance	Time once the other leg withdraws from the ground till weight is back on the foot
Terminal stance	Time, once the foot leaves the bottom, marks the top of stance face and onset of swing part
Pre-swing	Phase in that the foot is pushed and raised off the bottom.
Toe off	Instant when the end/terminal contact is formed with the front of the feet
Mid-swing	The instant when the swinging foot exceeds the stance-phase foot and each feet square measure together.
Terminal-swing	Last extension of shank occurs, the leg is aligned for starting foot contact to start out the new cycle

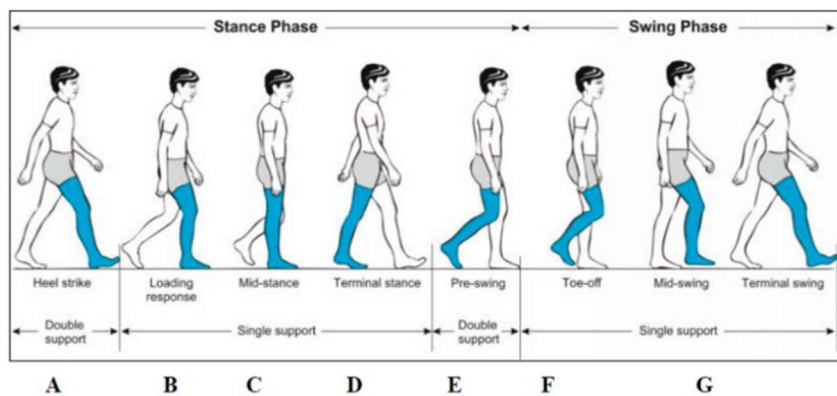


Fig. 1. Complete Gait Cycle  
[3]

*Figura 1 Ciclo de Marcha Completo. Kaur y Sethi (2021)*

Alava (2020) habla acerca de la distribución de cargas que existen en la planta de un pie humano. Porcentualmente se presentan los resultados mostrando que las secciones donde el pie soporta más cargas se ubican en el talón y en el antepié.

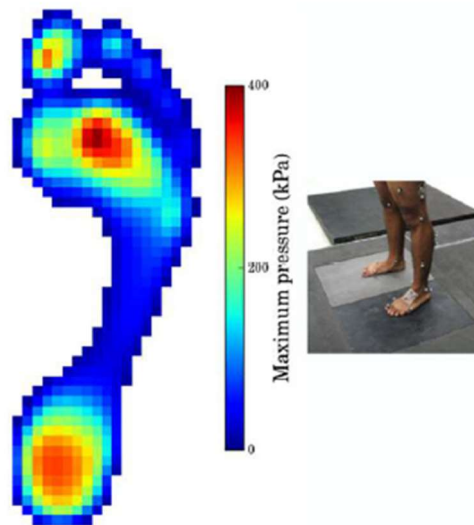
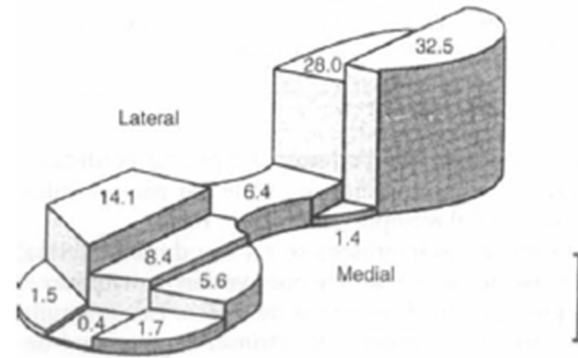


Figura 2 Distribución de presiones en el pie. Alava (2020)

Rochlitz y Pammer (2017) hacen un análisis de tres puntos en los que se enfoca el soporte de las fases dentro de los ciclos de marcha; movimiento de flexión plantar, flexión dorsal y la fase de flexión dorsal impulsada/despegue. Además de tener los puntos críticos de presión en el ciclo de marcha, Lee, Kim y Baek (2021) hacen un estudio experimental con presión a lo largo del ciclo de marcha en esos tres puntos con sensores, con lo que se puede observar que el punto máximo de presión en tanto en el dedo del pie como en el antepié se alcanza justo antes de alzar el pie, mientras que el esfuerzo del talón va anticipado a los otros y se libera antes que la parte frontal, pero es el primero en recibir fuerza cuando se vuelve a asentar el pie luego de la oscilación.

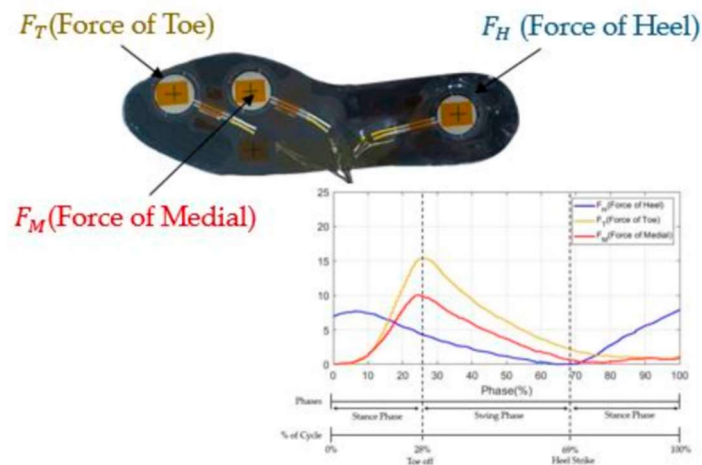


Figura 3 Sensores en la planta del pie y presión en esos puntos a lo largo del ciclo de marcha. Lee, Kim y Baek (2021)

### 1.1.1 Opciones de diseño: estado del arte

Para tener un control más fluido y natural de estas dos fases, pies prostéticos de clasificación K3 utilizan sistemas de control con microcontroladores para activar un sistema hidráulico que amortigua los pasos dados para asemejarse más a un pie real (Thiele et al., 2013). Diferentes modelos se encuentran en el mercado, como la C-Leg de Ottobock, Orion, y Pilé2.0. Estos mecanismos se acoplan a pies que tienen funcionalidad similar como el Odyssey K3 hydraulic foot de College Park, que amortiguan el tobillo en las fases claves del ciclo para optimizar la energía requerida para dar el siguiente paso.

De la misma manera que con la rodilla, se puede diseñar el tobillo como un mecanismo de cuatro barras policéntrico, y controlar el ciclo de marcha con un PID y redes neuronales como plantean Lee, Kim y Baek (2021). El análisis dinámico de este mecanismo puede servir de modelo para replicar un tobillo que se adapte a las restricciones de diseño con las que se trabajará en la USFQ.

El diseño del pie se realiza haciendo un análisis de las partes críticas del pie, donde se va a ejercer mayor presión al momento de dar el paso. Según Imran et al. (2023), existe un



nuevo mecanismo de prótesis transfemoral pasiva que permite tanto caminar como ponerse en cuclillas. Analiza la conexión entre la articulación de la rodilla y la articulación pie-tobillo utilizando componentes específicos (mencionados en el paper) y propone una estructura de mecanismo de articulación de seis barras para coordinar sus movimientos. Los resultados de la simulación se presentan para demostrar la eficacia del mecanismo. Los componentes específicos utilizados para conectar la articulación de la rodilla con la articulación pie-tobillo en el nuevo mecanismo de prótesis transfemoral pasiva es la articulación tobillo-pie ESAR (energy storing and return) / (almacenamiento y retorno de energía, similar a un resorte).

### **1.1.2 Diseño del Sistema de Control**

Durante la evolución y desarrollo de prótesis han resaltado 3 tipos. Estas son prótesis energéticamente pasivas, prótesis con mecanismos de actuación, prótesis que integran IA. Una explicación un poco más general es la dada por Geng et al. (2012):

**Dispositivos Energéticamente Pasivos:** Las prótesis transfemorales comerciales se han limitado a dispositivos energéticamente pasivos. Es decir, dispositivos que no poseen ningún tipo de control, y que únicamente presentan un reemplazo para la pierna.

**Prótesis con mecanismo de Actuación:** Las prótesis transfemorales activas utilizan diferentes actuadores para permitir un movimiento más fluido, y que brinde más comodidad al usuario. En Geng et al. (2012) se menciona un motor lineal como actuador, aunque en Sup et al (2017) también se presentan ideas de usar actuadores hidráulicos, neumáticos.

**Futuros marcos de Control:** Las prótesis transfemorales deben contar con un marco de control confiable que garantice una interacción estable y coordinada con el usuario y el entorno. En Geng et al. (2012) se menciona que se han explorado complicados métodos de control inteligente, como las Redes Neuronales Difusas, el control adaptativo de redes neuronales y el control experto difuso en investigaciones teóricas.

El desarrollo de prótesis con un control requiere de conocer la potencia que se requiere en cada movimiento que la pierna realiza, por lo que la siguiente imagen ilustra dichos valores.

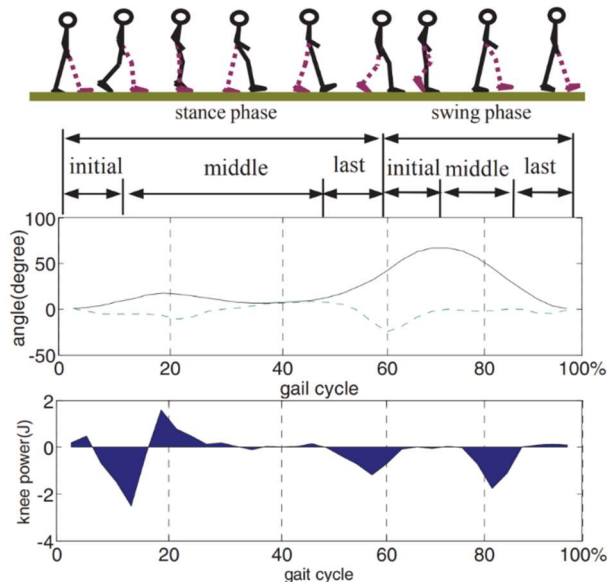


Figura 4 Ángulo de la rodilla y potencia media a lo largo del ciclo de marcha. Geng, Yang, Xu, Chen (2012)

### 1.1.3 Acoplamiento integrado de la prótesis

En el proyecto integrador del semestre pasado se diseñó una rodilla policéntrica modelada como un mecanismo de cuatro barras. Casias et al. (2023) indican que el diseño cumple con los estándares de la norma ISO 10328:2006, que garantizan estabilidad, seguridad y comodidad en el ciclo de marcha. El mecanismo alcanza un ángulo de flexión de  $110^\circ$ , y otorga un grado de movilidad K2, que permite caminar sobre superficies irregulares y cuenta con un sistema de balanceo. Como trabajos futuros se recomienda cambiar el material de los acoples, aumentando así el peso para que simule de mejor manera una rodilla real y volviendo más resistente a estos puntos críticos. También se recomienda aumentar un sistema de autobloqueo, lo que permite tener más estabilidad en la fase de apoyo. Con estas consideraciones, el sistema de pie a diseñar debe integrar estas consideraciones, además de ser compatible con el grado de movilidad de esta rodilla para tener una prótesis integrada funcional.

Por otro lado, la máquina de fabricación de sockets prostéticos diseñada por Morales, Garrido y Vallejo (2023) permiten la fabricación completa de la prótesis al poder crear el acople que iría al muñón o un mecanismo de acople para rodillas no amputadas de prueba. Esta máquina succiona al vacío una lámina de plástico caliente, conformándola al molde instalado previamente en el mecanismo para dar la forma deseada.

## 1.2 Conceptos de diseño y selecciones.

La presente sección muestra las alternativas consideradas durante el diseño, y una evaluación cuantitativa de las mismas con el fin de seleccionar la mejor de manera ordenada, guiada y tomando en cuenta varios aspectos.

## 1.3 Subsistemas

Los subsistemas definidos para este proyecto fueron los que se muestran en la siguiente tabla.

*Tabla 1 Subsistemas a evaluar*

<b>Subsistemas 1</b>	Sistema de bloqueo rodilla
<b>Subsistemas 2</b>	Selección diseño de pie
<b>Subsistemas 3</b>	Acople con socket

### 1.3.1 Sistema de Bloqueo de Rodilla

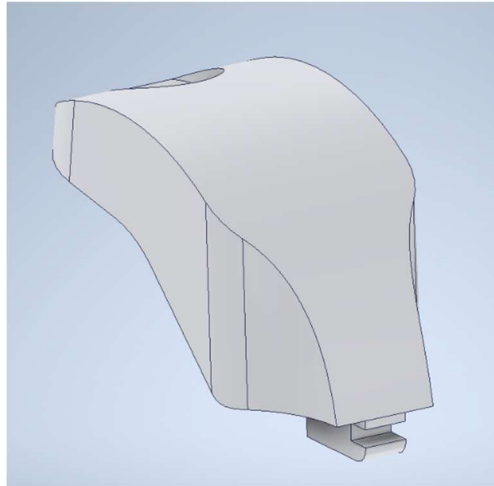
El primer subsistema por analizar será el sistema de bloqueo de la rodilla, el cual ha sido analizado bajo las siguientes 4 alternativas de diseño.

*Tabla 2 Alternativas Subsistema 1*

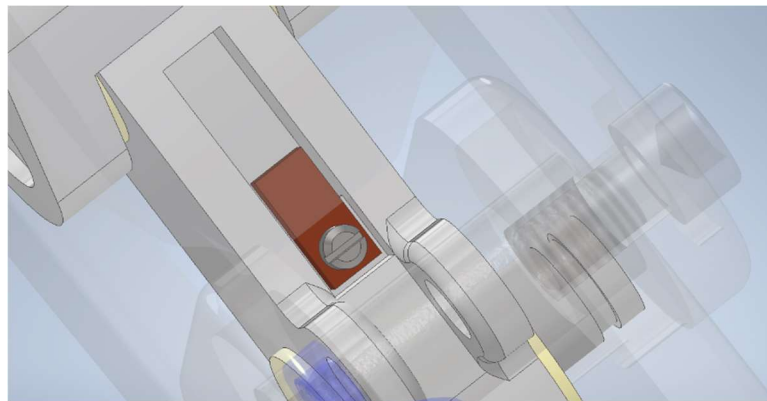
<b>Alternativa 1</b>	Lengüeta
<b>Alternativa 2</b>	Motor con microcontrolador
<b>Alternativa 3</b>	Mecanismo de bloqueo impreso en 3D
<b>Alternativa 4</b>	Sistema de pin para bloqueo

### Alternativa 1:

Esta alternativa consiste en colocar una lengüeta en el enlace posterior de la rodilla. Esta lengüeta tendrá un material que brinde una alta fricción, de modo que el movimiento de rotación del tobillo se vea limitado por la lengüeta metálica.



*Figura 5 Diseño de rodilla con bloqueo de lengüeta*



*Figura 6 Lengüeta Interna*

### Alternativa 2:

Esta alternativa propone el uso de un microcontrolador, un sensor de presión y pin móvil. El mecanismo consiste en controlar la entrada y salida de un pin, que bloquea o no la rodilla, según los datos tomados por el sensor de presión durante cada fase en el ciclo de marcha.

### Alternativa 3:

La alternativa 3 se basa en una pieza impresa en 3D con filamento FLEX SMARTFIL, el cual va a tener una forma similar a la Figura 7. Este sistema funcionará mediante fuerzas de fricción sobre la parte superior de la rodilla. Mientras la rodilla esté recta, la circunferencia hueca no va a permitir que la rodilla, con el peso de la pierna, se doblé fácilmente y se doble, teniendo que ejercer una fuerza superior sobre la misma para que esta pueda flexionarse y permitir que la rodilla se doble.



*Figura 7 Sistema de bloqueo impreso en 3D*

### Alternativa 4:

La alternativa 4 contempla realizar una modificación en la estructura principal del sistema de rodilla para implementar un pin de bloqueo. Dicho pin de bloqueo funcionará mediante una forma circular ensamblada a una geometría que cumplirá el trabajo de un resorte. El pin encajará en una ranura maquinada en la rodilla para que cuando la misma se doble, el pin se encaje en la ranura y salga cuando la rodilla esté flexionada o estirada.



Figura 8 Pin Clip de bloqueo

Criterios ingenieriles:

- **Facilidad de construcción:** se refiere a que el proceso de manufactura del sistema de bloqueo evaluado sea de una construcción accesible sin cambiar drásticamente el diseño de la rodilla previamente obtenido.
- **Facilidad de acoplamiento:** qué tanto se debe modificar el prototipo existente
- **Resistencia a la fatiga:** se refiere a la resistencia que va a tener el material empleado, al someterse constantemente a fatiga y desgaste.
- **Maleabilidad en la fuerza de bloqueo:** qué tanto el diseño permite modificar la fuerza necesaria para vencer el bloqueo, dando versatilidad al diseño.

Proceso de selección

La siguiente matriz muestra el puntaje y peso asignado a cada aspecto de estudio, demostrando que la mejor alternativa de diseño es la primera, es decir, utilizar una lengüeta.

Tabla 3 Evaluación de alternativas

Subsistemas 1 - Sistema de bloqueo									
Peso	Criterios Ingenieriles	Alt 1		Alt 2		Alt 3		Alt 4	
20%	Facilidad de construcción	5	1	1	0.2	5	1	2	0.4

30%	Facilidad de acoplamiento	5	1.5	2	0.6	4	1.2	3	0.9
20%	Maleabilidad en la fuerza de bloqueo	3	0.6	5	1	3	0.6	1	0.2
30%	Resistencia a la fatiga	4	1.2	5	1.5	3	0.9	4	1.2
<b>100%</b>	<b>Total</b>		<b>4.2</b>		<b>3.3</b>		<b>3.7</b>		<b>2.7</b>

### 1.3.2 Selección de diseño pie

Para el diseño del pie se tomaron las siguientes alternativas que permitían un mejor desempeño, y competitividad con las que ya se encuentran en el mercado.

*Tabla 4 Alternativas subsistema 2*

<b>Alternativa 1</b>	Policéntrico
<b>Alternativa 2</b>	Arqueado
<b>Alternativa 3</b>	Dos laminas cruzadas

Alternativa 1:

Como se muestra en la figura, esta alternativa propone la creación de un mecanismo policéntrico de 4 barras que brinde la flexibilidad que se tiene en la unión del tobillo y del pie. Este diseño brinda simula de manera más cercana la mecánica de un tobillo, proporcionando mayor estabilidad en el ciclo de marcha.

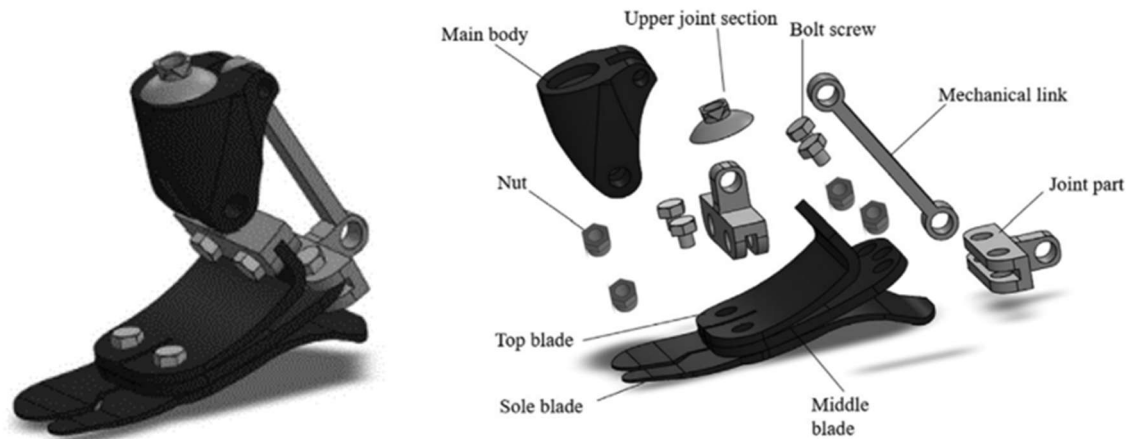


Figura 9 Mecanismo de cuatro barras para el tobillo. Diseño pie policéntrico. (Imran et al., 2023)

#### Alternativa 2:

Como se muestra en la Figura 10, el pie arqueado es un diseño el cual se basa en las partes del pie donde se va a ejercer mayor presión y se va a resistir las fuerzas principales del ciclo de marcha, como son la flexión plantar, flexión dorsal y la flexión planar – empuje. Por esta razón, el diseño cuenta con una parte ancha en el antepié, dando más estabilidad y sobre el retropié, cuenta con un diseño hueco y robusto para soportar altos esfuerzos. Este diseño no tiene grados de libertad y el movimiento de marcha depende puramente de la flexión del material en los diferentes puntos del ciclo.

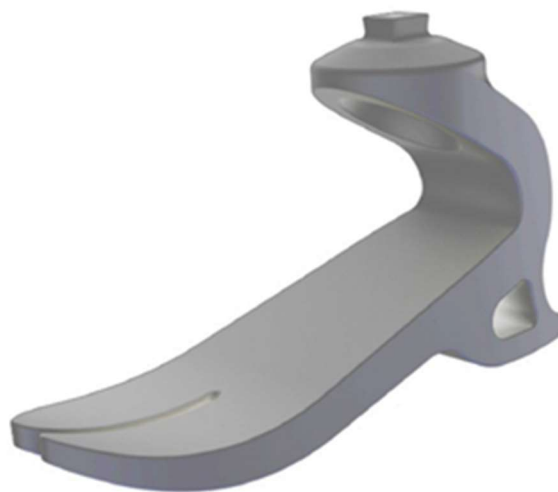


Figura 10 Pie de una sola pieza de fibra de carbono. Diseño de pie arqueado



### Alternativa 3:

Un diseño con placas planas de fibra de carbono, y un tobillo con un grado de libertad de un pasador sujetado con dos resortes que simulan los dos tendones que soportan el mecanismo: el Tendón de Aquiles y el Tibial Anterior. Esto permite tener el grado de libertad que permite comodidad en la marcha como en el sistema policéntrico y simplifica el diseño al no tener geometrías curvas pronunciadas, que requieren de más material y dificultan la manufactura de estructuras de fibra de carbono.



*Figura 11 Diseño de pie láminas cruzadas. Modelos de Referencia. Izq. Modelo Odessey K3 (College Park, 2023), Der. Pie Pathfinder II de WillowWood*

### Criterios ingenieriles:

- **Facilidad de construcción:** se refiere a que el proceso de manufactura del diseño de pie pueda ser desarrollado junto con la maquinaria a disponibilidad en la universidad.
- **Complejidad de la geometría:** cuantas piezas móviles y geometrías curvas se implementan para obtener el mismo grado de movilidad.
- **Precio:** se refiere a los costos asociados que se van a obtener por; material, manufactura y piezas de construcción. Va a ser determinado principalmente por la cantidad de fibra de carbono requerida

- **Estabilidad / movilidad:** se refiere a la capacidad que va a brindar el pie para moverse en distintos terrenos y la estabilidad que va a tener el usuario.
- **Rigidez y resistencia:** se refiere a la capacidad del diseño evaluado a resistir distintos tipos de cargas y presiones sobre el talón, y la planta del pie.

Proceso de selección

Al analizar las opciones anteriores, puntuarlas y asignarles un peso, se obtuvo que la mejor opción es la tercera, es decir, un diseño con láminas de fibra de carbono cruzadas.

*Tabla 5 Evaluación de alternativas*

<b>Subsistemas 2 – Selección diseño de pie</b>							
<b>Peso</b>	<b>Criterios Ingenieriles</b>	<b>Alt 1</b>		<b>Alt 2</b>		<b>Alt 3</b>	
20%	Facilidad de construcción	4	0.8	2	0.4	5	1
20%	Complejidad de geometría	2	0.4	1	0.2	4	0.8
30%	Precio	4	1.2	2	0.6	4	1.2
15%	Estabilidad y movilidad	5	0.75	5	0.75	4	0.6
15%	Rigidez y resistencia	5	0.75	5	0.75	4	0.6
100%	<b>Total</b>		3.9		2.7		4.2

### 1.3.3 Sujeción del Acoplador en el Socket

El socket a utilizar permitirá probar la prótesis en personas que no han sufrido una amputación, por lo que es un componente muy importante. Las opciones de diseño son las siguientes.

*Tabla 6 Alternativas subsistema 3*

<b>Alternativa 1</b>	Placa adherida al molde
<b>Alternativa 2</b>	Sujeción de emparedado del acoplador

Alternativa 1:

La alternativa 1 se basa en alinear una placa en el molde de yeso donde se va a empernar el acople y fundirla directamente en el plástico, contacto así previamente con la alineación del sistema, que es crítico en el buen desempeño de la prótesis para el paciente.

Alternativa 2:

La alternativa 2 es un método que funde el acople directamente entre dos plásticos al momento de crear el socket, por lo que se necesita alta precisión en el trabajo y se requieren de tres técnicos que aseguren la correcta alineación del acople.

Selección

Dada la explicación de cada alternativa, parece ser evidente que la manera más viable de implementar los acoples es usar el primer método, es decir, una placa en la que se va a empernar el acople a la pierna.

#### **1.4 Diseño para implementar**

En conjunto, se implementará un sistema de bloqueo en la rodilla existente usando una lengüeta en la pieza de fin de carrera del mecanismo de cuatro barras de la rodilla. Este sujetará la posición estirada hasta que se aplique una fuerza que venza este bloqueo, que se da cuando el talón se asienta. Este sistema se acopla al socket por arriba empernando el acoplador a la placa fundida en el socket en L que se moldeará para simular una amputación y es intercambiable. Por debajo de la rodilla se unen con dos acoples hembras un tubo que sirve de tibia para conectar abajo al pie, que tendrá un sistema de pie rígido, con un acople macho, diseñado con placas unidas de fibra de carbono con un tobillo que cuente con un sistema de suspensión de con un amortiguador y dos tendones de fibra de carbono que simulen los tendones que conectan el pie con la pierna.

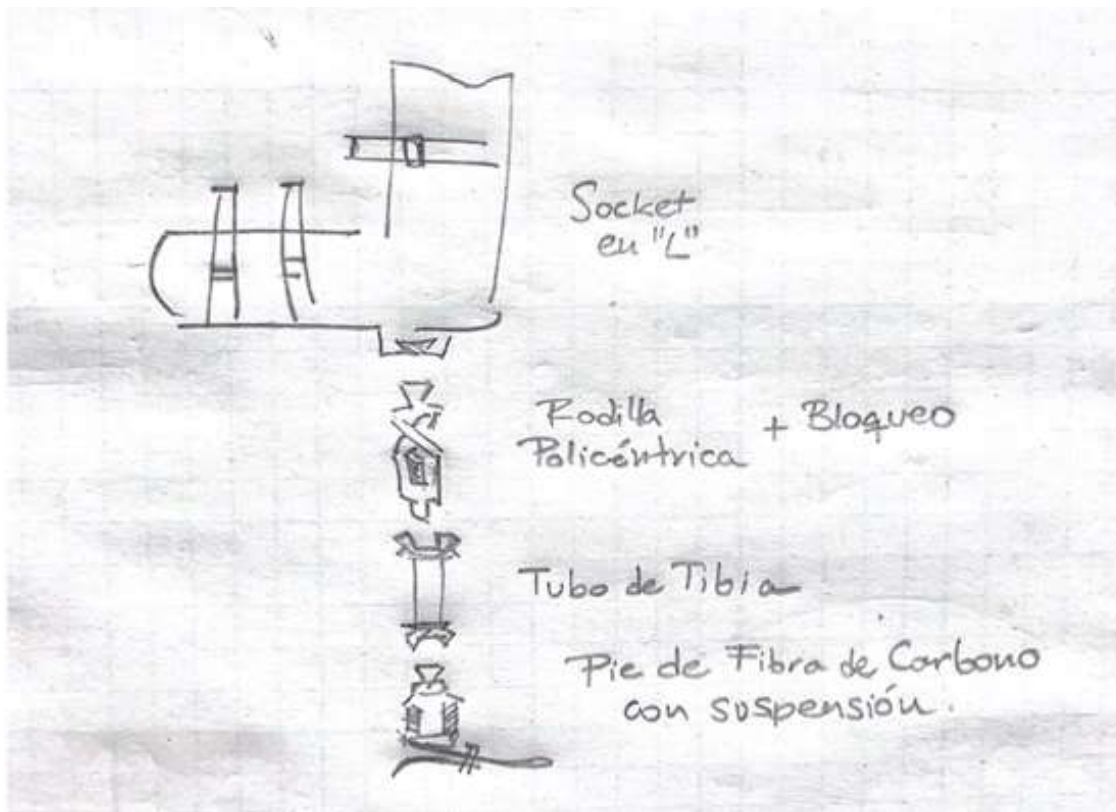
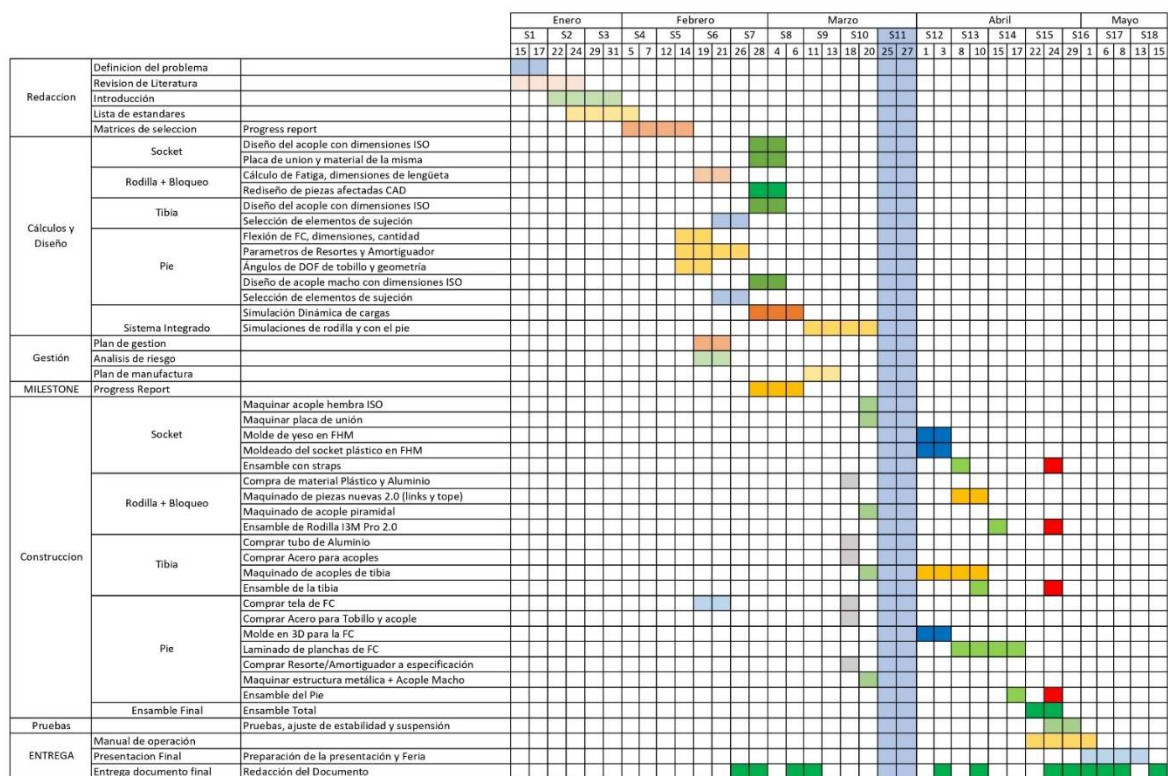


Figura 12 Subsistemas a diseñar. Esquema final

## 1.5 Gestión del Proyecto

En el presente Diagrama de Gantt se realizó un análisis acerca de las principales etapas que se llevarán a cabo para realizar el proyecto con éxito. Las mismas cuentan con subtemas específicos que se distribuyeron a lo largo de dieciocho semanas. Es importante tomar en cuenta que la semana once, es considerada vacación de medio semestre, por lo que está señalada de un color distinto al resto. Se tiene un presupuesto de \$400 para material y se analizará el costo del producto final para cumplir con los objetivos de diseño.

Tabla 7 Diagrama de Gannt



Con la conclusión de la manufactura del diseño y la compra de todos los materiales se obtuvo un costo final de materiales de \$308.05. Los detalles de compras de la cadena de suministro están detallados en el Anexo B: Manejo del Proyecto.

Se cotizó el costo de manufactura de las piezas en talleres de manufactura locales, y considerando el precio del material se tienen los siguientes costos para los diferentes componentes.

Tabla 8 Costos de manufactura del Pie de Prótesis

<b>Costo total Prótesis Pie</b>			
<b>Material</b>	<b>Mecanizado</b>	<b>Pernos y pasadores</b>	<b>Amortiguador</b>
\$ 141.07	\$ 580.00	\$ 6.98	\$ 60.00
<b>Total</b>		<b>\$ 788.05</b>	

La prótesis de pie tiene un costo de manufactura aproximado de \$788 USD, lo cual llega a ser competitiva con productos del mercado que rondan por los \$800-\$1000 USD.

Para completar el prototipo y acoplarla a la rodilla se manufacturaron diferentes acoples que unen los dos componentes y las juntan al socket. A continuación, se detallan los costos de los acoples diseñados.

*Tabla 9 Costos de Manufactura de Acoples*

<b>Costo Acoples</b>				
<b>Unidad</b>	<b>Descripcion</b>	<b>Material</b>	<b>Mecanizado</b>	<b>Total por Pieza</b>
1	Acople Hembra Femur	\$ 1.58	\$ 60.00	\$ 61.58
2	Acople Hembra Tibia 50mm	\$ 3.24	\$ 75.00	\$ 78.24
1	Acople Hembra Tibia 35mm	\$ 2.07	\$ 75.00	\$ 77.07
1	Base Acople Socket	\$ 2.50	\$ 50.00	\$ 52.50
Total				\$ 347.63

Para hacer uso de la prótesis se manufacturó un socket en L para que no amputados puedan usar la prótesis. Esto se lo hizo junto con la Fundación Hermano Miguel, y junto a la placa interna que tiene, el costo de la pieza es de \$209.75 como se observa a continuación.

*Tabla 10 Costos de Manufactura de Socket en L*

<b>Descripcion</b>	<b>Costo total Socket</b>	
	<b>Material</b>	<b>Manufactura</b>
Placa Socket	\$ 9.75	\$ 40.00
Acople Hembra Tibia 50mm	\$	160.00
Total	\$	209.75

El costo total del prototipo, incluyendo el costo de la rodilla diseñada el anterior semestre que fue de \$629.04 USD, es de \$1975 USD.

También se hizo una evaluación de los potenciales riesgos que pueden surgir en el proyecto, y como se los pueden mitigar y asesorar. Estos se dividen en riesgos técnicos, riesgos operacionales, de seguridad, legales, económicos y comerciales. Se evaluaron los diferentes riesgos con su importancia y su probabilidad para dar una medida de prioridad, y se asignó un responsable en el equipo para manejar cada situación y asesorar el potencial riesgo. El detalle de los riesgos planteados se observa a continuación.

Tabla 11 Análisis de Riesgos

Tipo de Riesgo	Código	Descripción	I	P	Prioridad	Responsable	Decisión Tomada	Estatus	Observaciones
Técnicos	1	La adherencia de la fibra de carbono sea débil y las placas se laminen	5	4	20	Mateo Arteaga	Instruirse bien en la técnica para minimizar los defectos, usar una funda para generar vacío y reducir vacancias que generen agrietamiento	Completado	Se implementó un proceso de molde positivo-negativo
	2	La rigidez del material no sea suficiente para soportar las cargas diseñadas	5	3	15	Mateo Arteaga	Realizar ensayos de tracción y cambiar el espesor de las piezas diseñadas	Completado	
	3	Se genere inestabilidad por los acoples piramidales de aluminio en la rodilla	2	5	10	Daniel Coral	Remaquinar la rodilla en acero si hay espacio en el taller, sino asumir el riesgo y dejar el proyecto para un futuro desarrollo.	Completado	Se asume el riesgo y se deja el trabajo para un futuro desarrollo
	4	No completar el mecanizado de las piezas requeridas debido a la saturación de la capacidad de producción a la que se tiene acceso en la Universidad	4	5	20	Daniel Coral	Implementar un itinerario estricto que garantice la finalización oportuna de todos los procesos de mecanizado. Esto implica la planificación detallada de cada etapa del proceso, asignación correcta de recursos y supervisión rigurosa para cumplir con los plazos establecidos.	Completado	
Operacionales	5	Que el socket resultante no sea comodo para el usuario; genere ampollas, quemaduras y posibles infecciones	4	2	8	Natanael Calle	Redactar recomendaciones en el manual de uso. Usar el socket con pantalón largo.	Completado	
	6	La protesis no amortigua lo suficiente al momento de utilizarla o es muy rígida para el usuario	1	3	3	Gabriel Garcia	Regular la presión en el amortiguador a preferencia del usuario. Si la pierna es muy rígida el usuario necesita un modelo diferente, se asume que el prototipo es para un cierto usuario y se define un rango de peso ideal para el uso.	Completado	Las pruebas se realizaron con usuarios no amputados.
	7	El pie se siente inestable y tiende a flejar en descanso	3	4	12	Gabriel Garcia	Esto significa que el eje de fuerza está muy atrás, se ajusta la pirámide del pie para que la alineación sea la correcta. Se diseña un riel para ajustar la posición del acople para tener adaptabilidad.	Completado	
Seguridad	8	Fallas resultantes a fatiga	5	4	20	Mateo Arteaga	Realizar cálculos conservativos sobre fatiga.	Completado	
Legales	9	Demandas resultantes de accidentes.	4	1	4	Natanael Calle	Firma de documento de liberación de responsabilidad	Completado	
Económico	10	Falta de documentación adecuada para la devolución de fondos	2	3	6	Daniel Coral	Facturar adecuadamente futuras compras. Hablar con el departamento de Contabilidad y Adquisiciones para la compra realizada en Amazon	Completado	
	11	Falta de presupuesto	4	2	8	Daniel Coral	Cotizar con los proveedores de los materiales, asumir el costo excedente si amerita.	Completado	No se asumió ningún costo extra
Comerciales	12	No encontrar la suspensión neumática con la que se diseñó el modelo en tiendas del Ecuador	4	3	12	Natanael Calle	Hacer un pedido de la suspensión por Amazon, o buscar la suspensión de segunda mano.	Completado	Se consiguió una suspensión de segunda mano

Al final del proyecto se hizo una evaluación de todos los puntos considerados y como se manejaron los riesgos previstos.

## 1.6 Estándares Ingenieriles

El Proyecto se sustenta en tres estándares ingenieriles, dos que guían el diseño y uno para el ensayo de tracción del material compuesto de fibra de carbono y epoxi (CFRP).

ISO 10328: Prosthetics — Structural testing of lower-limb prostheses — Requirements and test methods

Dan la referencia sobre parámetros estructurales de estabilidad y seguridad en el diseño.

ISO 24562: Prosthetics — Geometrical aspects of lower limb prosthetic adapters

Estandarizar los adaptadores de los componentes para que empaten con otros componentes.

ASTM D3039 – D3039M

Da los parámetros a los que debe ser calibrada la máquina para el ensayo de tracción de compuestos reforzados con fibras.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Diseño de Manufactura y Selección de Materiales

#### 2.1.1 Piezas Metálicas

Las distintas piezas metálicas de Aluminio y Acero se van a maquinar en el Taller Mecánico de la USFQ. Todas las piezas se fabricarán de duraluminio por su costo accesible en relación con su peso, excepto la pirámide y su base que se fabricarán con acero por su necesidad de dureza elevada. Se realizó un diseño CAD de las piezas necesarias para el ensamble, con el objetivo de tener una primera idea de los procesos mecánicos que se llevarán a cabo para cada pieza. La mayoría de las piezas serán manufacturadas en su mayoría en la fresa CNC y algunas en el torno, que permitirán obtener las geometrías deseadas. Los procesos realizados para cada pieza maquinada en CNC se detallan en el Anexo A: Planos Ingenieriles y Hojas de Procesos. A continuación, se muestran algunas de las piezas durante el proceso de manufactura.



*Figura 13 Piezas metálicas maquinadas en la fresa CNC. Pirámide (izquierda), base del amortiguador (centro), acople de tibia (derecho).*

El detalle del proceso de manufactura de cada una de las piezas se explica en el siguiente diagrama, ya que con cada parte se debe examinar su geometría para definir los procesos a



ejecutar. Con todas las piezas maquinadas se procede a las siguientes etapas de ensamblaje total de la prótesis.

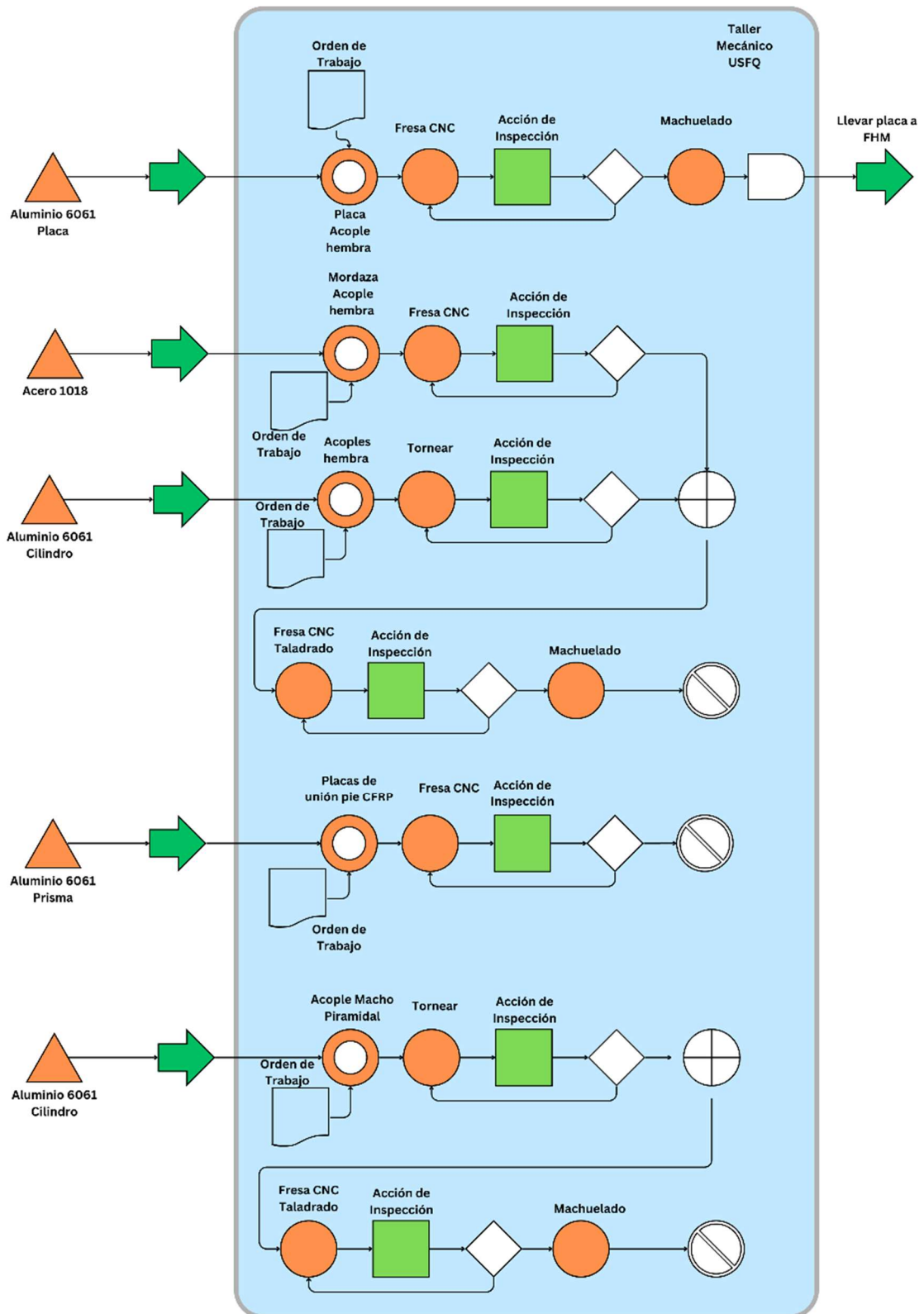


Figura 14 Diagrama de Procesos para piezas metálicas

### 2.1.2 Socket en L

El socket en L se lo realiza en colaboración con la Fundación Hermano Miguel, quienes tienen el conocimiento técnico y el horno de termoformado necesario para la fabricación de este componente.

El proceso de crear el molde externo de yeso de una pierna comienza con la compra de las vendas de yeso y el yeso en polvo, seguido por su transporte y preparación en el taller de la Fundación. Una vez allí, se prepara las vendas de yeso empapándolas de agua y se las pone sobre la pierna seleccionada, asegurando una cobertura uniforme alrededor de toda la pierna. La pierna debe estar flexionada, con la rodilla doblada a 90 grados para que la forma del molde sea en L. Tras dejar curar el molde, se realiza una inspección del resultado para garantizar su calidad. En caso de encontrar errores, se corrigen con más vendas de yeso para ajustar la posición, las imperfecciones y de igual manera se tapa la abertura donde se ubica el pie. Finalmente, se deja secar el molde completamente antes de su uso, y se marcan las líneas de carga en el costado y frente para referencia de alineación. Se desmonta el yeso cortándolo de la pierna y curando los cortes con más yeso.

Una vez creado el molde externo, proceso de creación del molde interior comienza con la inyección de yeso dentro del molde anteriormente preparado. Una vez curado el molde, se realiza una inspección para verificar la correcta formación del molde. Luego, se evalúa si el molde cumple con la planitud deseada; en caso contrario, se corrige el molde empastando con yeso. Una vez que el molde está seco y aprobado, se procede a pulirlo para asegurar que la superficie sea lisa y uniforme. A continuación se muestran imágenes del proceso.



*Figura 15 Manufactura del molde de yeso para termoformado. Vendado, alineación y pulido.*

Para la fabricación del socket se comienza con la preparación del plástico que se va a utilizar, el cual se corta según las medidas específicas requeridas. La placa metálica para empernar el acople hembra de la pirámide se ubica y se alinea en el molde de yeso. Una vez listo el material, se transporta al horno donde se calienta, siguiendo las indicaciones proporcionadas en el documento técnico. Una vez que se alcanza la temperatura adecuada, el plástico se coloca con cuidado sobre el molde interior de yeso, y se succiona con la máquina de vacío para conformar el socket.

Una vez fabricado el socket requerido, se realiza una inspección para asegurar que la forma del mismo esté correcta. En caso de detectarse alguna desproporción de las medidas, el producto se rechaza y se repite el proceso desde la preparación del plástico para garantizar la calidad del resultado final. Si el socket pasa la inspección, se procede a cortar la sección posterior del molde, permitiendo el fácil acceso de la pierna y se taladran agujeros para llegar a la placa metálica. Se pulen cuidadosamente las aristas vivas y esquinas para evitar cualquier accidente durante su uso. Luego, se colocan esponjas ortopédicas en el interior del socket para alcanzar la comodidad del paciente. Una vez completadas estas etapas, se realiza una última inspección para confirmar que el socket esté correctamente fabricado, sea cómodo y ofrezca la estabilidad necesaria al usuario. Esta etapa se detalla en la siguiente Figura.



*Figura 16 Fabricación del socket. Calentado del plástico en horno, termoformado al vacío, y acople de bandas de sujeción. Finalmente, se emperna el acople empra para la pirámide en los agujeros previamente taladrados sobre el socket y la placa metálica. Con esto, se da por completado el proceso de producción del socket en forma de L que se usara para realizar el acople integral de la pierna protética. Este proceso se detalla en el siguiente diagrama de procesos.*

Fundación Hermano Miguel

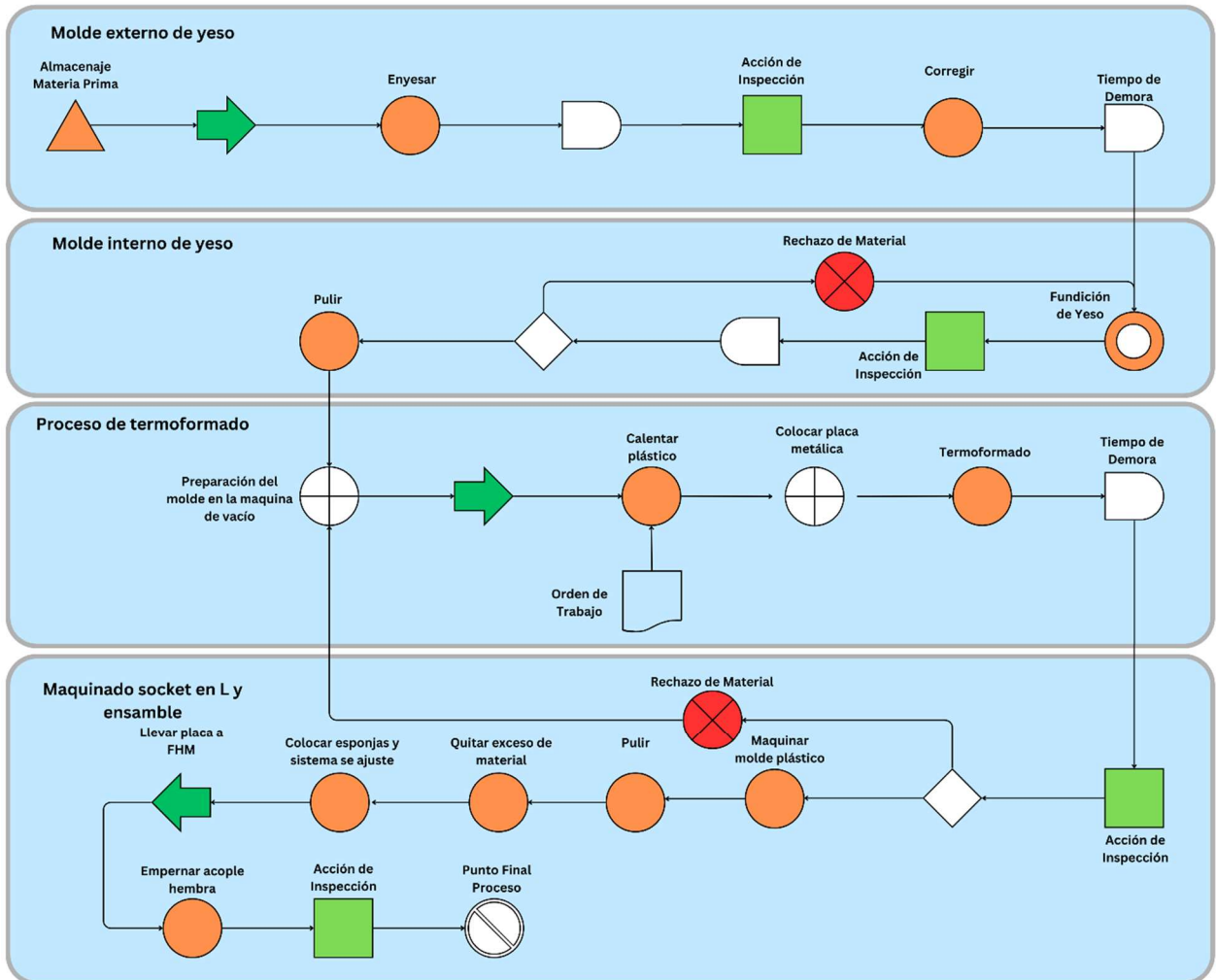
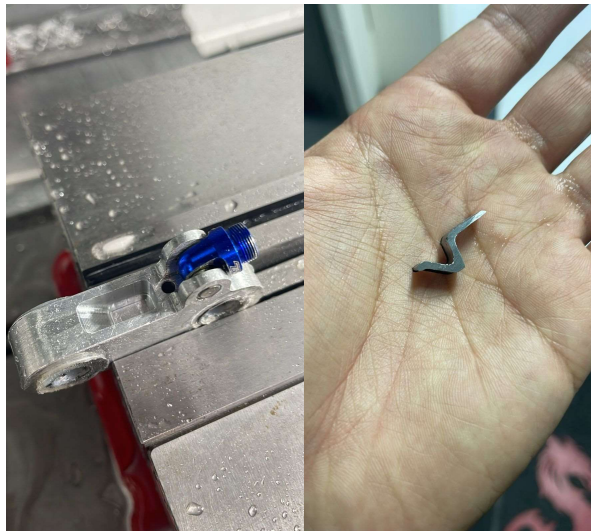


Figura 17. Diagrama de manufactura de socket en L

### 2.1.3 Sistema de Bloqueo

Se describe el proceso de fabricación detallado de los componentes del mecanismo de bloqueo de la prótesis en amputación transfemoral. Este sistema de bloqueo es un componente crítico que proporciona estabilidad y control a la prótesis. El bloqueo consiste en una lengüeta que será emperanada al sistema de barras central. En su posición recta, esta superficie choca contra el tope de grilón. La barra central será remaquinada en CNC para que cuente con una ranura donde estará la lengüeta, y el tope de grilón será remodelado para que cuente con un gancho que se agarre al sistema, bloqueando la rodilla en la posición estirada y de igual manera remaquinado en CNC. Para el pin se consideraron dos procesos, los cuales se detallarán a continuación. Sin embargo, en el proceso de manufactura fue claro que el método de maquinado en CNC resulta más factible debido al pequeño tamaño de la pieza y la precisión que necesita tener. A continuación se muestra el resultado de la manufactura.



*Figura 18 Maquinado del sistema de bloqueo*

El proceso de fabricación de la lengüeta incluye pasos meticulosos para garantizar la precisión, durabilidad y funcionalidad del sistema. Para la fabricación de esta pieza se plantea dos posibilidades, una, por medio de conformado metálico en donde se va a trabajar con planchas metálicas, estas se cortan y doblan de acuerdo con los requerimientos dimensionales y físicos de la pieza. Si la primera opción no logra cumplir con los requisitos físicos

necesarios, se propone una segunda alternativa que consiste en fabricar la pieza mediante maquinado en CNC.

El proceso de fabricación comienza con la adquisición de láminas metálicas adecuadas para el pin. Estas láminas se someten a una inspección para garantizar la conformidad con los estándares especificados con respecto a la composición del material, el espesor de acuerdo con los cálculos realizados y la resistencia del material. Las láminas metálicas son transportadas al taller donde se someten a un corte para obtener las dimensiones deseadas previo al doblado de la plancha. Después de la medición y el corte, cada componente se somete a una inspección para verificar la precisión dimensional. Cualquier discrepancia detectada durante esta fase conlleva el rechazo del material defectuoso, garantizando el cumplimiento de los estándares de calidad. El marcado de puntos clave sobre la placa y el doblado de las piezas metálicas se realizan con precisión para lograr el factor de forma deseado, esencial para la funcionalidad del mecanismo de bloqueo. Después del proceso de doblado, se realiza una inspección minuciosa de los componentes para garantizar la conformidad con los parámetros geométricos especificados. Los componentes que cumplen con los estándares requeridos pasan a la siguiente etapa, mientras que las piezas defectuosas son rechazadas. Posteriormente, los componentes fabricados se someten a una limpieza y pulido para eliminar cualquier contaminante, imperfección de la superficie o rugosidad innecesaria. Este paso prepara al material para su tratamiento térmico. El tratamiento térmico de recocido se emplea para eliminar las tensiones residuales inducidas durante el proceso de doblado, mejorando las propiedades mecánicas y la durabilidad de los pines metálicos. Después del tratamiento térmico, se realiza una inspección final para evaluar la dureza y resistencia de los pines metálicos. Las piezas que cumplen los criterios especificados proceden al ensamblaje, mientras que cualquier problema conlleva el rechazo del material defectuoso.

En caso de que se detecten deficiencias en las propiedades físicas de los componentes fabricados, se procede a utilizar un método alternativo de fabricación mediante fresado CNC que asegure la obtención de las características físicas requeridas para su correcto funcionamiento. Los procesos detallados se presentan en la siguiente figura.

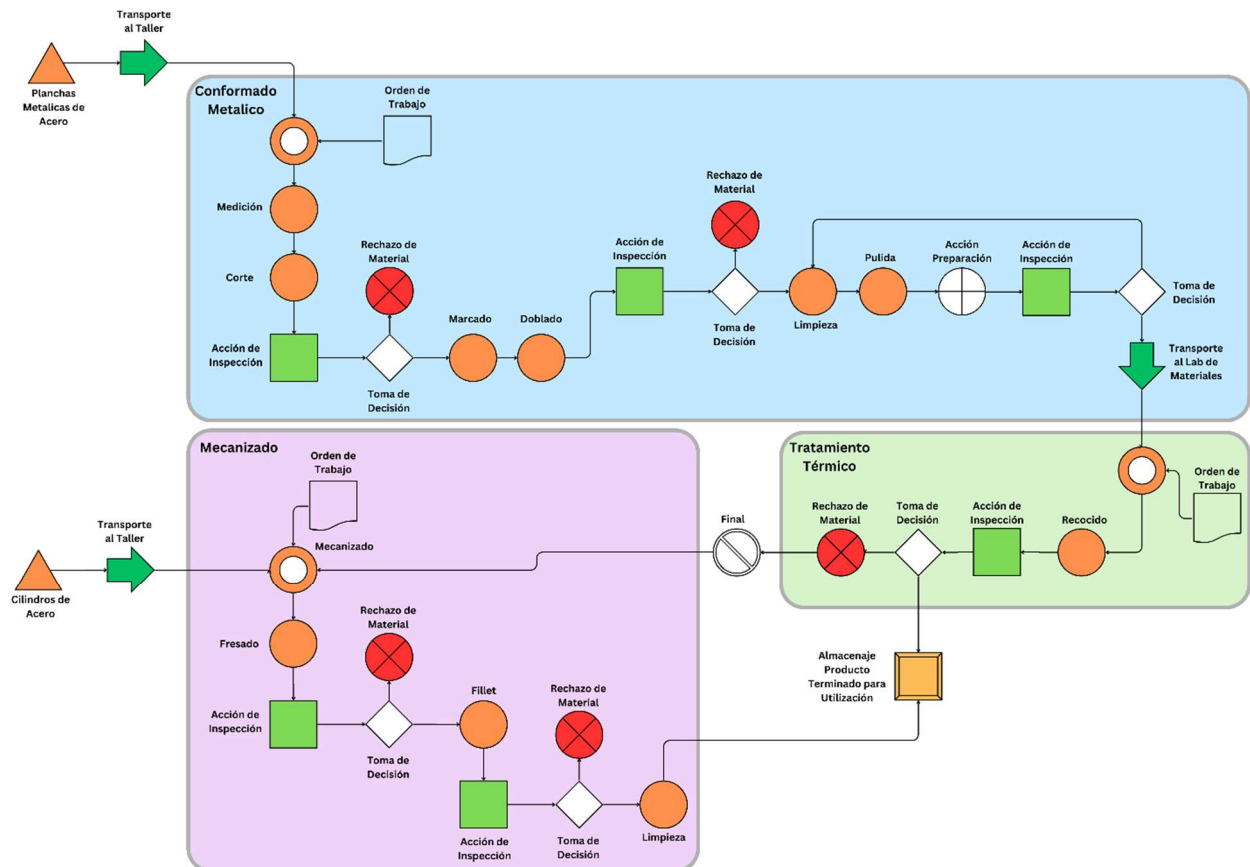


Figura 19. Diagrama de manufactura del bloque metálico

#### 2.1.4 Pie de la prótesis (Fibra de Carbono y Resina Epoxi)

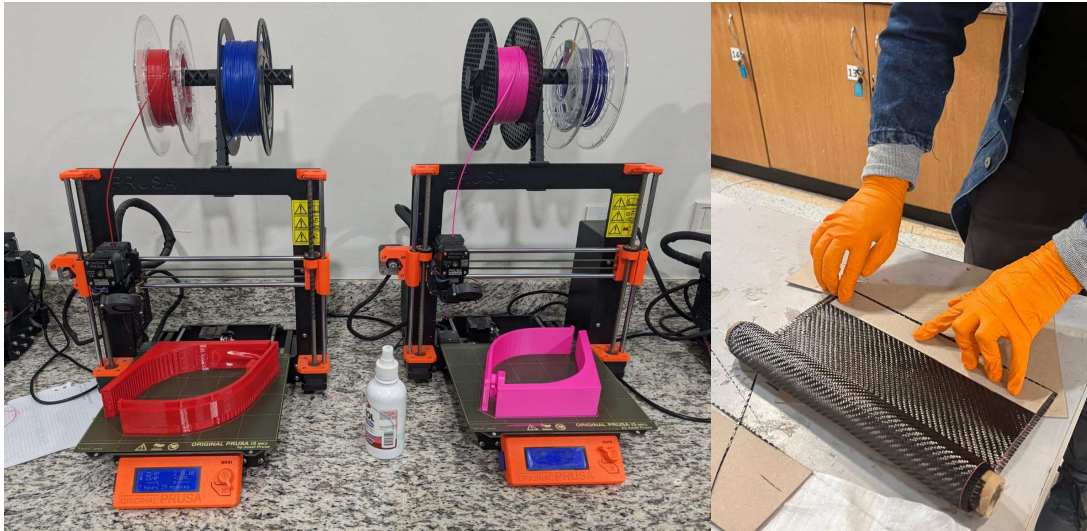
La fabricación del material compuesto de fibra de carbono y resina epoxi para realizar los componentes del pie es un proceso de pasos sencillos pero que requieren de precisión y cuidado. Este proceso contiene 3 pasos que pueden hacerse de forma paralela, y un cuarto, el cual debe realizarse después de haber terminado los anteriores.

El proceso comienza con la impresión de moldes 3D, los cuales servirán de base y guía para la creación de formas complejas y curvas con la fibra de carbono y la resina epoxi. En este



proceso se requiere de una orden de trabajo con Código-G a partir del modelo CAD para realizar la impresión de piezas. Una vez terminada la impresión de los moldes, es importante revisarlos en busca de cualquier falla o defecto geométrico que pueda existir, esto con el fin de asegurar que el último proceso se pueda llevar de la mejor manera. En esta revisión es importante verificar que medidas y dimensiones sean las correctas, teniendo en cuenta que los moldes deben ser fáciles de utilizar, y sencillos de desmontar una vez se tenga el producto final. En caso de notar cualquier imperfección que pueda comprometer pasos posteriores, se debe imprimir de nuevo. Finalmente, cuando todo esté listo, se lo debe guardar hasta terminar los demás procesos.

Con los moldes impresos y verificados, el siguiente proceso requiere de la tela de fibra de carbono y de una orden de trabajo con las especificaciones de corte y recomendaciones de uso. Con estos dos componentes, se debe dimensionar el material que será cortado para cada molde. La cantidad de tela a cortar se encontrará especificado en la orden de trabajo, y los cortes serán sobredimensionados para no perder calidad en los filos del modelo. Una vez cortados los moldes, hay que revisarlos para evitar cualquier error o pérdida de material. En caso de que alguno tenga alguna falla, se repite el corte. Finalmente, los moldes y piezas cortadas deben ser dejados en un espacio libre, y asegurar que su manipulación sea mínima y sencilla. Estos procesos se observan a continuación.



*Figura 20 Fabricación de moldes en 3D y corte de tela de fibra de carbono..*

El tercer paso consiste en la mezcla de los dos componentes de la resina epoxi. Para este proceso se requiere mezclar partes iguales de los componentes A y B según el volumen requerido. La orden de trabajo contendrá especificaciones y recomendaciones sobre la mezcla entre el componente A y B con el fin de asegurar el mejor resultado y seguridad. Es importante revisar que la textura de la resina sea lo más líquida posible, de modo que pueda adherirse de la mejor manera a las capas de fibra de carbono. En caso de que la resina resultante sea muy viscosa, es recomendable repetir el proceso para no comprometer futuros resultados. Finalmente, ya con todos los pasos previos realizados, puede combinarse la fibra de carbono y la resina epoxi.

El último paso se lo debe realizar inmediatamente después de haber preparado la resina, ya que esta empezará a secarse. El molde se prepara con grasa antiadherente, y se coloca una primera capa de resina. Este proceso consiste en colocar una capa de resina sobre una capa de fibra de carbono y repetir este proceso hasta haber utilizado todas las telas cortadas, y asegurándose de que la capa quede bien recubierta y sin burbujas de resina. Al terminar de colocar las capas se sella el molde con ligas, lo que genera presión y permite que la pieza tenga una superficie homogénea. Una vez terminado eso, se debe dejar debe dejar secar por 72 horas. Se recomienda verificar por inconformidades antes del secado y es necesario

hacerlo después del mismo; en caso de observar alguna inconformidad, se recomienda repetir el proceso. El proceso de secado toma 72 horas y debe ser en un lugar abierto o muy bien ventilado, ya que estar expuesto a la resina epoxi por mucho tiempo, puede generar malestar. El detalle de este proceso se observa en la siguiente Figura.



*Figura 21 Moldeado de fibra de carbono con resina epoxi*

El paso final al desmoldar es quitar las rebabas que puede haber en la pieza con dremel y esmeril, y realizar, con el taladro, los agujeros necesarios en las piezas para que estas puedan ser integradas con el resto de los componentes; luego se inspecciona por cualquier defecto que pueda haber. En caso de haberlo, debe ser analizado con el fin de determinar cualquier problema futuro. En este caso, errores pequeños pueden no afectar, pero alguna fisura o grieta si puede ser importante y crítica, y se debe repetir el proceso. Este proceso se observa a continuación.

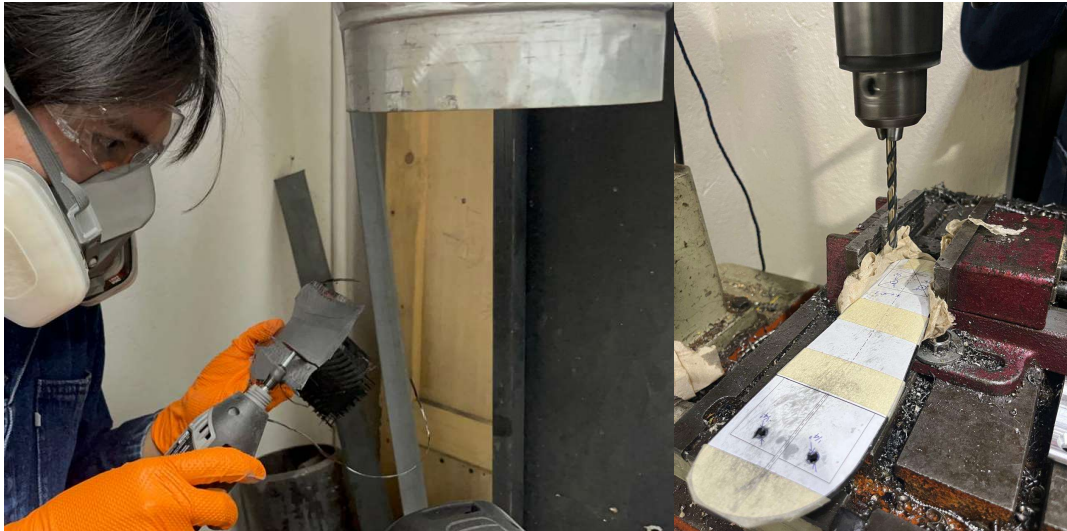


Figura 22 Maquinado de piezas de CFRP.

El plan de manufactura para estas piezas se resume a continuación.

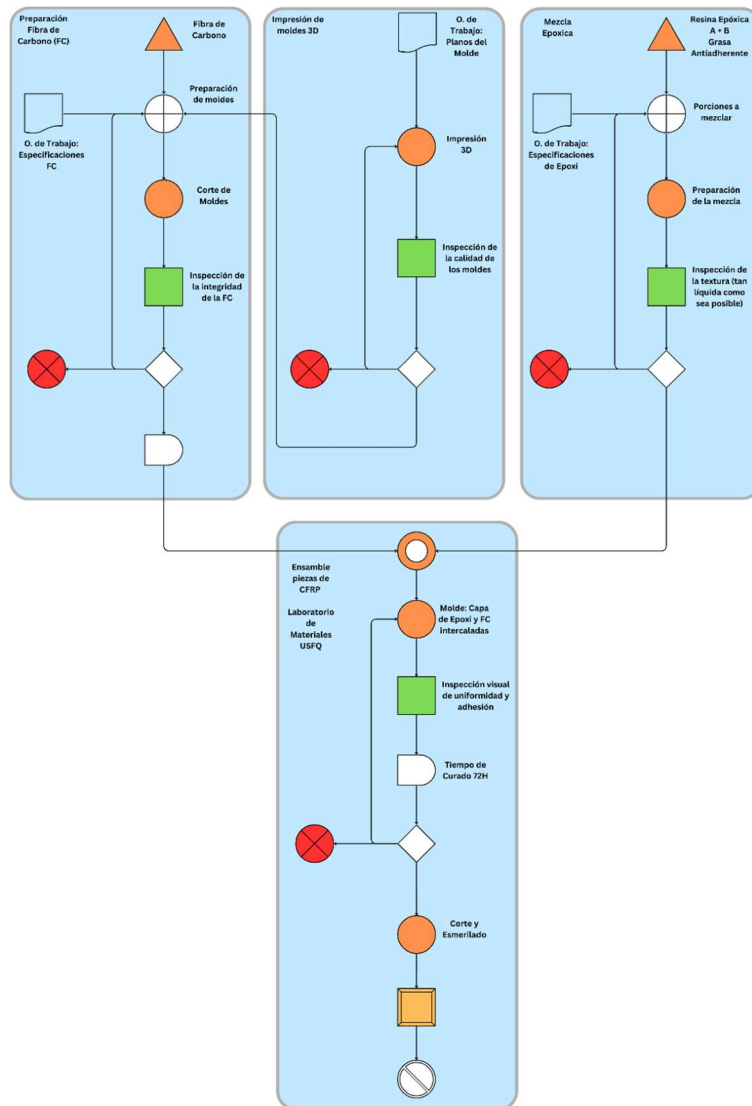


Figura 23 Diagrama de manufactura del pie de la prótesis

### 2.1.5 Ensamble de Conjunto

Con todas las piezas ya fabricadas se reúnen todos los componentes y se consiguen los elementos de sujeción necesarios para unir todo el prototipo. Todos los componentes se empernan con diferentes pernos de las medidas especificadas para cada parte en el plano de conjunto. Las placas de fibra de carbono se adhieren adicionalmente con adhesivo epóxico para sujetar toda la superficie de la placa que está en contacto con el tobillo metálico y en la base del pie. Se acopla también el amortiguador neumático de bicicleta que se compra ya fabricado. Con todas las piezas en conjunto el prototipo se encuentra completo y está listo para pruebas de uso. Estos pasos se detallan a continuación.

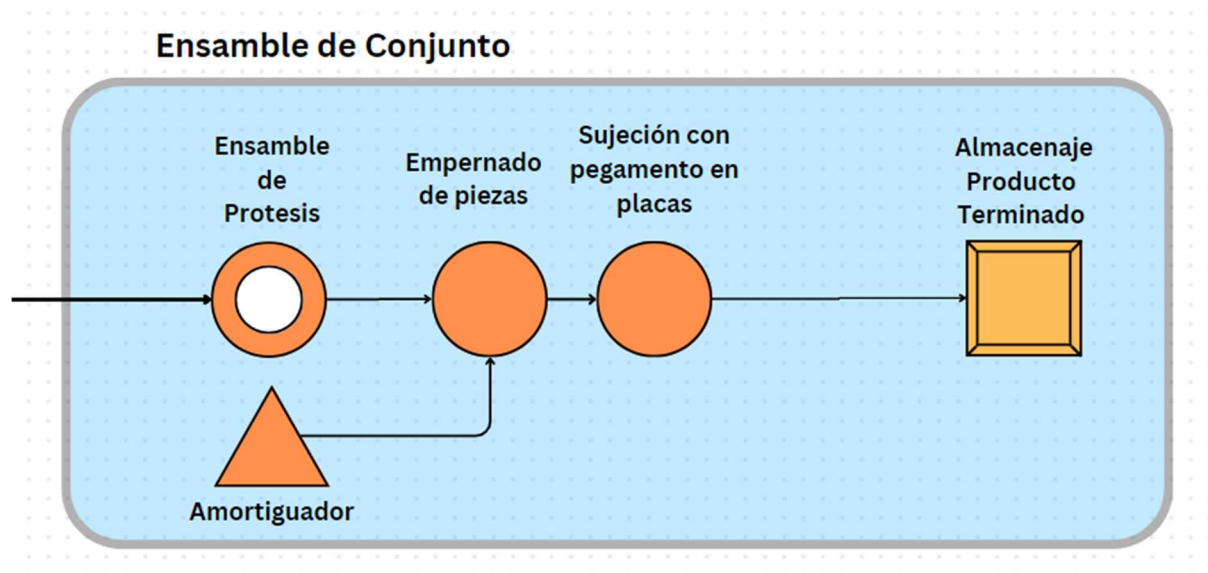


Figura 24 Diagrama de ensamble de conjunto

Con esto se logra el prototipo final, que se observa en la siguiente Figura.



*Figura 25 Prototipo de pie ensamblado. Ensamble en conjunto con rodilla y socket*

### 3. REPORTE DE DISEÑO

Para la construcción del prototipo de prótesis de pie se necesitan considerar las fuerzas que van a actuar en esta para el correcto diseño de las dimensiones y materiales a seleccionar que brindaran las propiedades adecuadas para el diseño.

Comenzando desde abajo, en el pie se deben determinar las dimensiones apropiadas para que este trabajo simulando las condiciones normales de un pie. Se debe determinar las dimensiones de la planta del pie que se basarán en un tamaño estándar para el Ecuador. Se calculará la rigidez del material para producir un efecto de resorte en la parte frontal que permita un movimiento adecuado de dorsiflexión y una acumulación de energía elástica que permita que se dé el paso.

Ya que el pie se construirá de fibra de carbono y resina epoxi (CFRP), se determinaron las propiedades adecuadas a utilizar dado que el material es ortotrópico. Esta consideración da un criterio de cómo alinear las capas del material al momento de hacer la fundición del material compuesto. Con la geometría determinada en función de la dirección de las fibras y fijado el parámetro de rigidez, se obtiene el espesor requerido para que la pieza fleje lo necesario en dorsiflexión. Con la geometría fija, se hace un análisis de viga en flexión para verificar que el espesor seleccionado resiste las cargas del sistema, y el factor de seguridad correspondiente. Con la rigidez obtenida, se modelará el sistema del pie como una masa, un resorte, y un amortiguador que va en la parte posterior. Con los parámetros de carga se determinará el amortiguamiento requerido en el sistema para que el ciclo de marcha sea lo más suave posible. Los amortiguadores estándares de bicicleta tienen una altura de 165mm, lo que se utilizará como criterio en la geometría del diseño.

En la rodilla se debe acoplar el bloqueo en plena extensión, lo que brinda más estabilidad al momento de estar parado. Para esto se debe calcular la fuerza mínima que esta lengüeta va a soportar antes de que el mecanismo se desbloquee para dar un paso, caso contrario el bloqueo no cede.

Por último, en el socket, en los extremos de la rodilla y el pie se deben diseñar los acoples piramidales según la norma ISO 24562, y comprobar la resistencia del material en acero, ya que pruebas anteriores de los acoples de aluminio crearon inestabilidad en el sujeto de prueba. En este diseño se utiliza en los tres acoples machos de la pierna, dos en la rodilla y uno en el pie. También debe haber dos acoples hembras en el tubo de tibia que conecta la rodilla con el pie, y el último acople hembra que va en el socket. Estos acoples y los demás sistemas de sujeción que irán en el pie y conectando estos componentes al prototipo se diseñarán la siguiente semana una vez que se hayan fijado los demás parámetros de geometría de la prótesis.

## 4. ANÁLISIS INGENIERIL

### 4.1 Pie

El diseño del pie es basado en el modelo Pathfinder de Ohio WillowWood (2013), de donde se obtienen medidas referenciales para la altura del tobillo, la curvatura de los tendones frontales que hacen de resorte, y la longitud de la planta del pie. El pie promedio en el Ecuador, y con la talla que más se trabaja en la Fundación Hermano Miguel es de 25cm, o talla 38 (2024). A partir de esta medida, y considerando también la medida en Pathfinder, se marca una longitud de pie de 220mm, dado que los pies prostéticos deben ir dentro de una carcasa que simula un pie y eso debe entrar en el zapato.



*Figura 26 Pie Pathfinder II de WillowWood*

#### 4.1.1 CFRP, Fibra de Carbono y Epoxi

Una consideración importante del pie es el material de fibra de carbono, que es usado ampliamente en el mercado de pies prostéticos por su alto esfuerzo máximo y baja densidad. Para este pie se utilizará un compuesto de fibra de carbono y resina epoxi, acotado en la literatura como CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer). En este material la dirección de las fibras determina las propiedades, al igual que las capas con las que se fabrique la pieza y la interacción entre capa y capa si es que la alineación es diferente entre ellas. A demás, se consideran fibras unidireccionales (UF) y fibras en tela tejida de manera perpendicular a



0/90°, lo que cambia sus propiedades y resulta en un material ortotrópico. Para este proyecto se utilizará tela tejida ya que es la más común en el mercado y más fácil de manipular. Al usar tela en el compuesto, con un volumen de fibra  $V_f=50\%$  y resina epoxi  $V_m=50\%$ , se obtienen las siguientes propiedades referenciadas en la literatura.

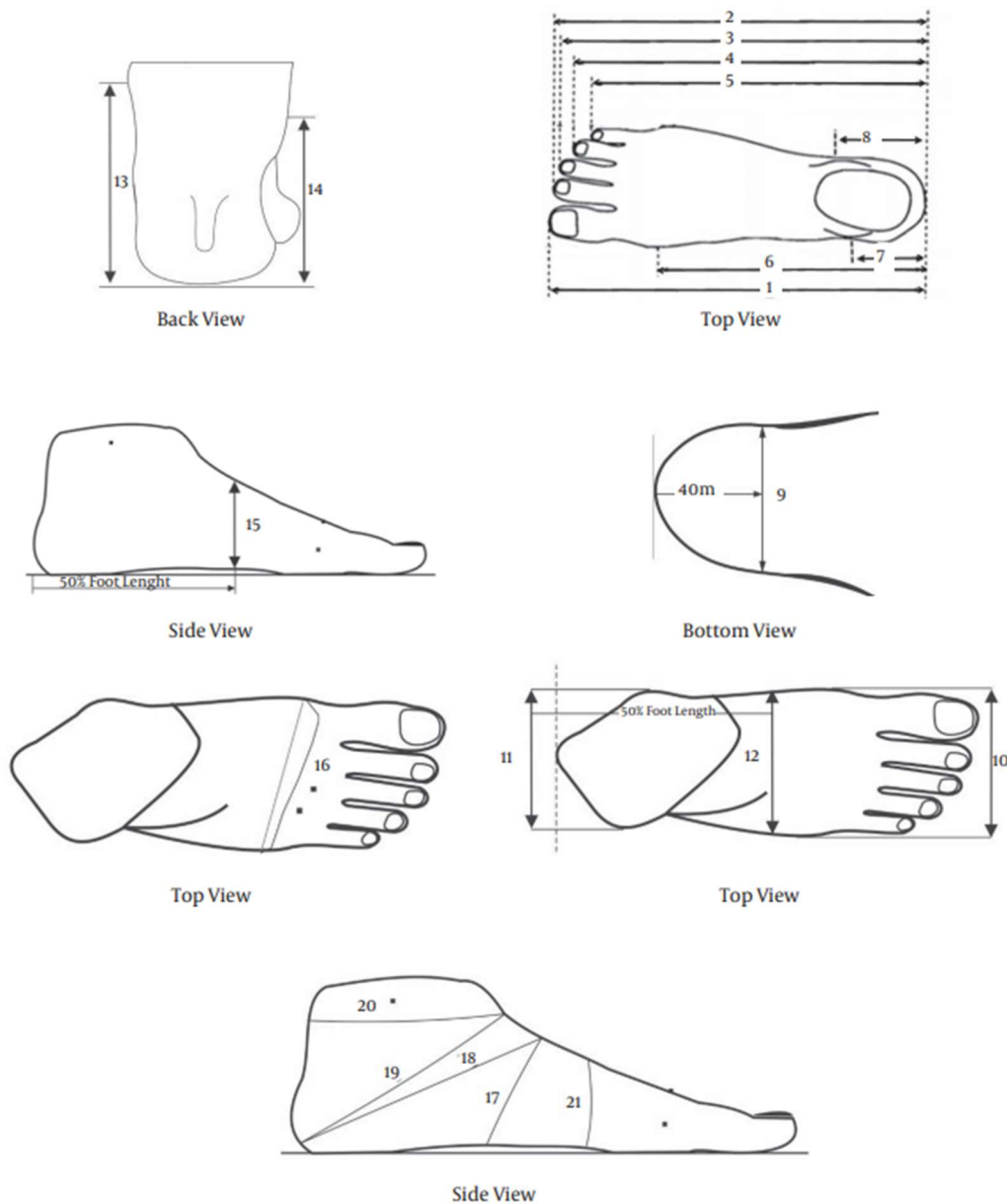
*Tabla 12 Propiedades de CFRP con tela orientada en la dirección principal del esfuerzo,  $V_f=50\%$  (Performance Composites, 2009).*

	<b>Symbol</b>	<b>Units</b>	<b>Std CF Fabric</b>
Young's Modulus 0°	E1	GPa	70
Young's Modulus 90°	E2	GPa	70
In-plane Shear Modulus	G12	GPa	5
Major Poisson's Ratio	$\nu_{12}$		0.10
Ult. Tensile Strength 0°	Xt	MPa	600
Ult. Comp. Strength 0°	Xc	MPa	570
Ult. Tensile Strength 90°	Yt	MPa	600
Ult. Comp. Strength 90°	Yc	MPa	570
Ult. In-plane Shear Stren.	S	MPa	90

Los valores teóricos referenciales serán usados para los cálculos a continuación. Más adelante se realizarán ensayos de tracción una vez que se obtenga el material compuesto a utilizar para corroborar los cálculos y hacer ajustes correspondientes al diseño si amerita.

#### **4.1.2 Planta del Pie**

Teniendo esta medida principal de 220mm, se toman datos referenciales de las demás dimensiones de un pie real en función de esta medida recolectados en Hajaghazadeh et al. (2017) para formar un contorno de planta de pie adecuado, y se compara con el modelo Pathfinder para referencia.



**Figure 1.** Foot dimensions; lengths (1 = FL (first toe length), 2 = FL2 (second toe length), 3 = FL3 (third toe length), 4 = FL4 (fourth toe length), 5 = FL5 (fifth toe length), 6 = AL (arch length), 7 = HMM (heel to medial malleolus), 8 = HLM (heel to lateral malleolus)), Widths (9 = HW (heel width), 10 = FW (foot width), 11 = BW (bimalleolar width), 12 = MFW (mid-foot width), 13 = MMH (medial malleolus height)), heights (14 = LMH (lateral malleolus height), 15 = HFL (height at 50% foot length)), girths (16 = BG (ball girth), 17 = IG (instep girth), 18 = LHG (long heel girth instep girth), 19 = SHG (short heel girth), 20 = AG (ankle girth), 21 = WG (waist girth)).

Figura 27 Medidas de un pie humano (Hajaghadzadeh et al., 2017). Para el modelo se utilizaron las medidas 1, 5, 6, 8, 9, 10, y 12. En referencia a la medida principal 1 de 220mm escalando las demás.

Ya que el pie protésico no se estira en el centro como lo hace un pie real, las prótesis del mercado cuentan con una elevación de 10mm entre la punta del pie y el talón para que cuando el peso se asiente la planta forme un arco que se asemeja al real y la punta del pie se levante ligeramente (College Park, 2023). A demás, la literatura menciona que el pie se

divide en tres tercios, y el peso recae sobre el primer tercio desde el talón, donde se encuentra el tobillo (College Park, 2023).

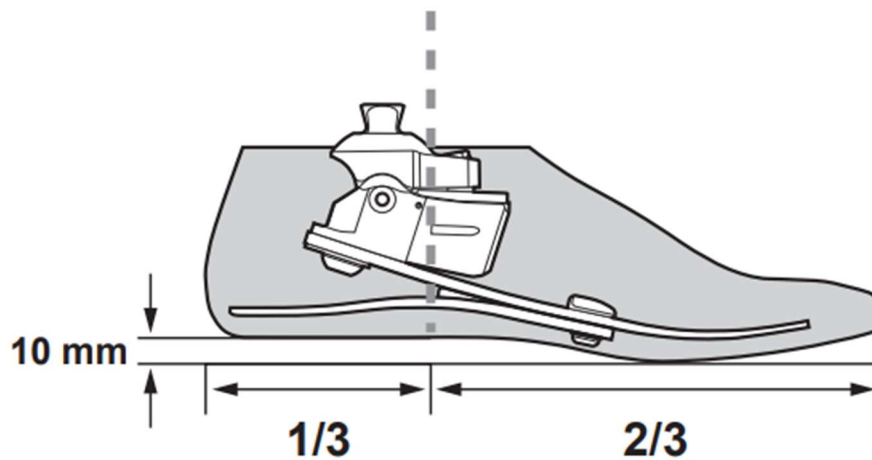


Figura 28 Esquema de Odessey K3 de College Park (2023), indicando el eje de peso y la elevación para el arco del talón.

Con estos parámetros en mente se diseñará la planta del pie en CAD, ajustando posteriormente los parámetros considerando el acople a los otros componentes y según se evalúe el ensamble en simulaciones. La curvatura resultante debe distribuir los esfuerzos resultantes para apoyarse de igual manera que un pie real para obtener más estabilidad. Los puntos de apoyo principales deben ser al final de los metatarsianos, donde comienzan los dedos, y en el talón, según muestra la medición tomada en Alava (2020). En la siguiente figura se detalla la distribución de presiones medidas en el pie.

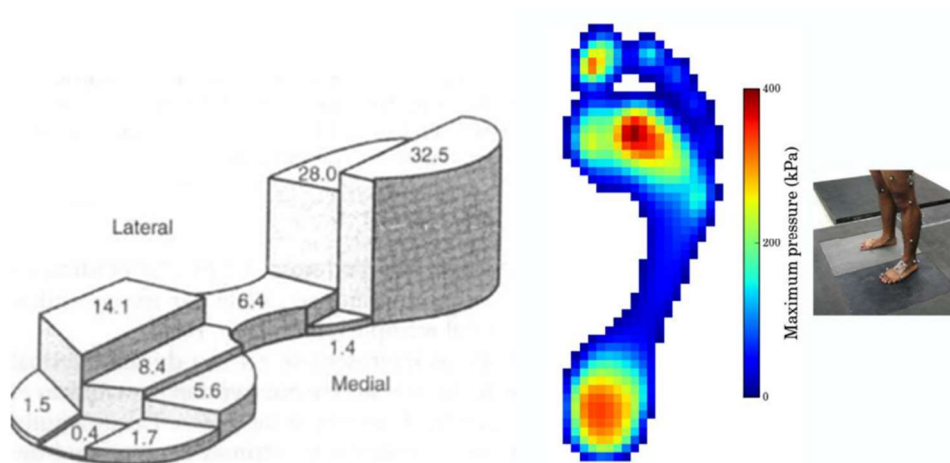


Figura 29 Distribución de presiones medidas en el pie (Alava, 2020).

Para encontrar el espesor del pie se hace un análisis simplificado de una viga empotrada. El empotramiento se da en el metatarsiano, a  $2/3$  del pie desde el talón. Dadas estas distribuciones de carga se tiene que el peso que se siente en el talón debe ser de aproximadamente 0.31 veces el peso de una persona. Para estos cálculos se toma una persona promedio de unos 80kg, redondeando hacia arriba a 800N de peso para simplicidad de cálculos (asumiendo una gravedad de  $9.81 \text{ m/s}^2$ ).

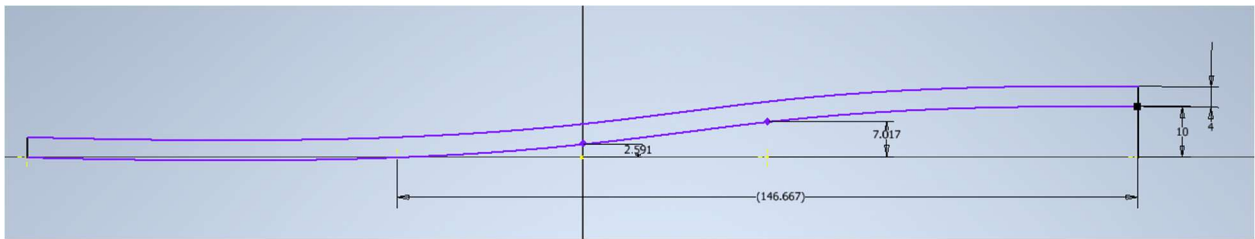


Figura 30 Perfil de la planta del pie.

Se plantea el siguiente diagrama de viga empotrada para analizar el caso.



Figura 31 Diagrama de cuerpo libre del talón

Con la geometría dada anteriormente se tiene un ancho de talón de  $b=50\text{mm}$ , una longitud desde el punto de apoyo de la fuerza de  $147\text{mm}$ , y se tiene un  $S_{UT} = 570 \text{ MPa}$  en compresión y un  $E_1 = 70 \text{ GPa}$ . Para encontrar el espesor mínimo se calcula el esfuerzo máximo que puede aguantar el sistema.

$$S_{UT} = \frac{Mc}{I}$$

Con  $M$  el momento generado en el punto de análisis,  $I$  la inercia de la viga y  $c$  la distancia al centroide del perfil. El Momento en el punto de empotramiento es  $M = P \cdot L$ . Expandiendo estos términos con una geometría rectangular de base  $b$  y altura  $h$  se tiene que,

$$S_{UT} = \frac{PL \left(\frac{h}{2}\right)}{\frac{1}{12}bh^3}$$

$$S_{UT} = \frac{6PL}{bh^2}$$

Con lo que,

$$h_{min} = \sqrt{\frac{6PL}{bS_{UT}}}$$

Considerando que el talón siente la mayor fuerza durante el primer contacto al oscilar la pierna y asentar, el peso entero dividido entre las dos piernas recaerá en el talón, con lo que  $P = 400N$ , resultando en un espesor mínimo de  $h=2.49mm$ .

$$h_{min} = \sqrt{\frac{6(400N)(147mm)}{(50mm)(570MPa)}} = 2.49mm$$

Considerando un factor de seguridad y simplicidad para la manufactura del diseño se escoge un espesor de 4mm para la planta del pie. Con este espesor se tiene un esfuerzo máximo de 222MPa, con lo que se obtiene un factor de seguridad de 2.57 en el talón al momento de hacer contacto con el pie.

#### 4.1.3 Rigidez y Geometría de tendones en J

Usando el pie Pathfinder (WillowWood, 2013) de referencia se dibujó la siguiente geometría para los tendones frontales del pie que servirán de resorte para el momento de dorsiflexión.

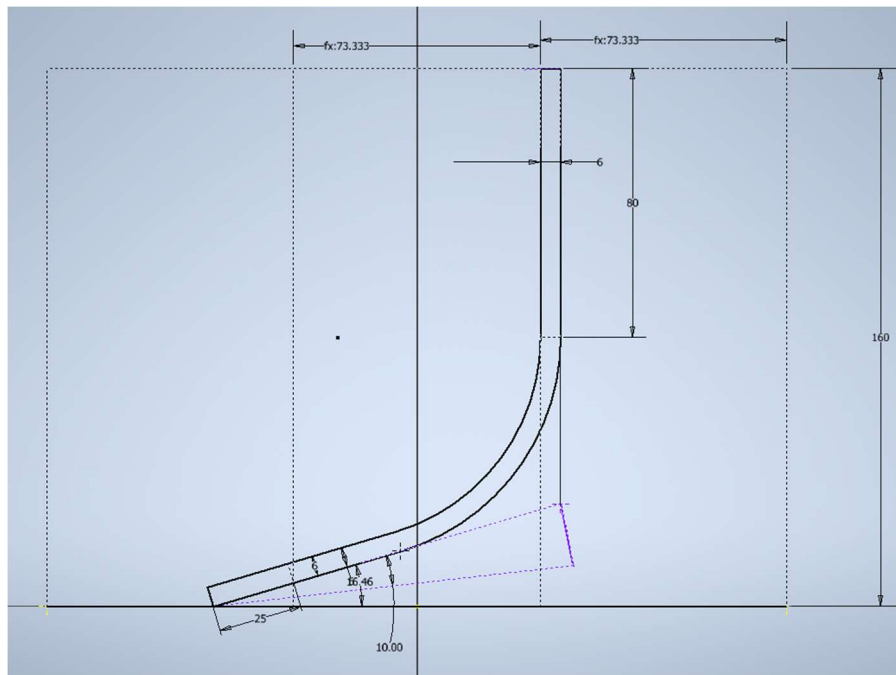


Figura 32 Perfil del tendón en J. La proyección en violeta muestra la posición máxima de dorsiflexión.

Esta geometría toma en cuenta la posición de carga a 1/3 de distancia del talón y resulta en una proyección de base horizontal de 107.7mm. El pie de modelo tiene dos tendones separados para tener una suela frontal diferenciada que alivie el caminar sobre irregularidades sin cargar lateralmente al pie. Dado que el talón tiene 50mm de ancho cada tendón se diseñó de 25mm de ancho.

Esta base se puede modelar como un sistema de masa resorte para calcular la rigidez deseada en el pie. En Quraishi et al. (2021) se menciona que la energía retornada por un mecanismo ESAR (Energy storage and Return) en la etapa de apoyo terminal es de 9.1 J, y piernas comerciales tuvieron pérdidas entre 18% y 32%. Además, el ángulo de dorsiflexión oscila entre los 10 y 20 grados (Brockett & Chapman, 2016), aunque se muestra que pacientes mayores pierden hasta 8 grados de dorsiflexión. Por lo tanto, se eligen 12 grados para dorsiflexión máxima del pie. Piernas comerciales como OdysseyK3 y Kinterra tienen valores similares (Naseri et al., 2022), con un ángulo de 7 grados.

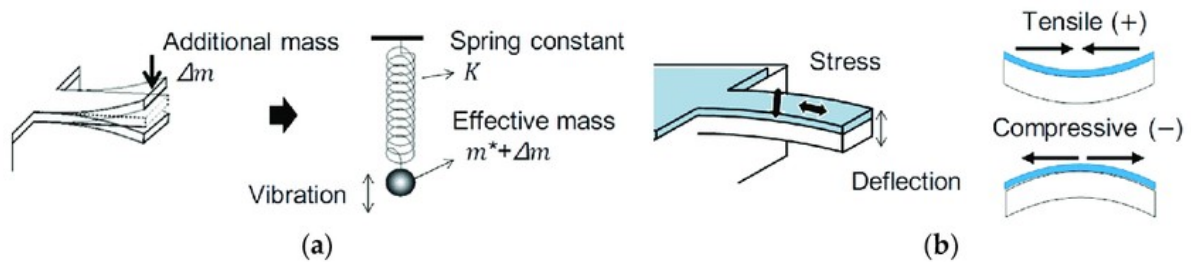


Figura 33 Modelo de viga como resorte y masa en flexión

Con 10 grados de dorsiflexión se obtiene un desplazamiento del modelo de resorte de

$$x = 107.7 \tan(12^\circ) = 22.8 \text{ mm}$$

El retorno de energía será la energía potencial elástica acumulada en el resorte en esa posición, de lo cual se puede despejar el coeficiente mínimo de rigidez  $k$  de cada tendón.

Asumiendo que son dos tendones, pero esperando solo el 50% de retorno en la energía, siendo conservativos en comparación a los modelos comerciales, se tiene que:

$$U_k = \frac{1}{2} k x^2$$

$$k = \frac{2U_k}{x^2} = \frac{2(9.1 \text{ J})}{(22.8 \text{ mm})^2} = 35 \text{ kN/m}$$

La rigidez de una viga en flexión viene dada por

$$k = \frac{3EI}{L^3}$$

Que expandiendo para despejar la altura de la viga rectangular se tiene que

$$k = \frac{Eb h^3}{4L^3}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{4kL^3}{Eb}} = \sqrt[3]{\frac{4(35 \text{ kN})(107.7 \text{ mm})^3}{(70 \text{ GPa})(25 \text{ mm})}} = 4.64 \text{ mm}$$

Una vez más, siendo conservativos en que el material tenga la elasticidad teórica y ajustando para dar robustez al diseño se fija un espesor de 5mm para estos componentes.

A este componente se lo evalúa para esfuerzos en flexión pura para calcular el esfuerzo que sentirá este componente y el factor de seguridad. Se realiza el siguiente diagrama como un modelo de viga empotrada en la base que se une a la planta del pie. Cada componente absorbe aproximadamente la mitad de la fuerza en dorsiflexión, cuando el talón está levantado y el otro pie está en el aire, por lo que cada tendón va a sentir un peso de  $P = 400N$ .

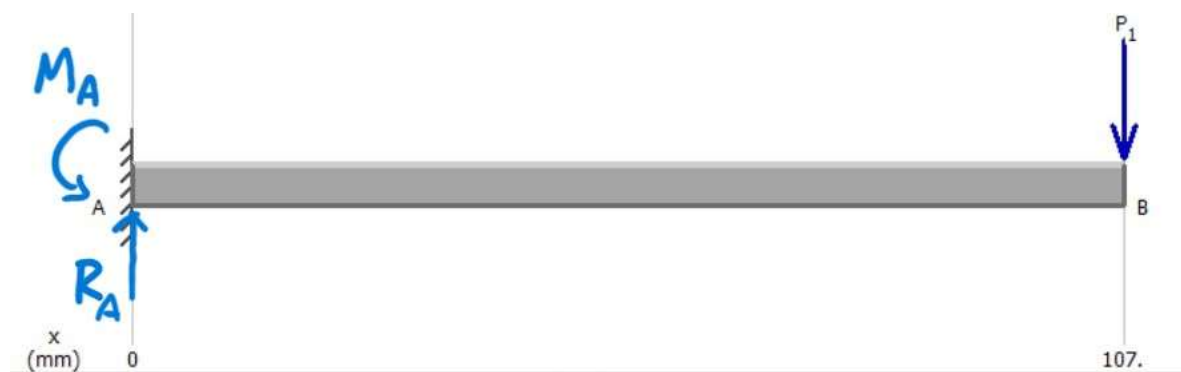


Figura 34 Diagrama de cuerpo libre del tendón en J como viga horizontal

En este caso, el esfuerzo máximo se encuentra en el punto de empotramiento, y como se vio anteriormente, viene dado por

$$S_{UT} = \frac{Mc}{I}$$

$$S_{UT} = \frac{PL \left(\frac{h}{2}\right)}{\frac{1}{12}bh^3}$$

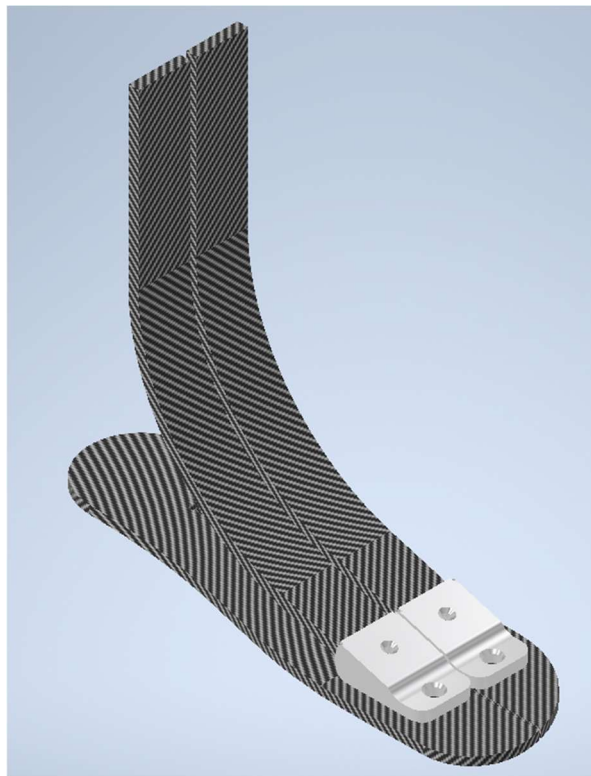
$$S_{UT} = \frac{6PL}{bh^2} = \frac{6(260N)(107.7mm)}{(25mm)(5mm)^2} = 268.82MPa$$

Dado que el punto crítico se encuentra en compresión, con un  $S_{UT} = 570 MPa$ , se tiene un factor de seguridad de 2.12 en estos tendones frontales.



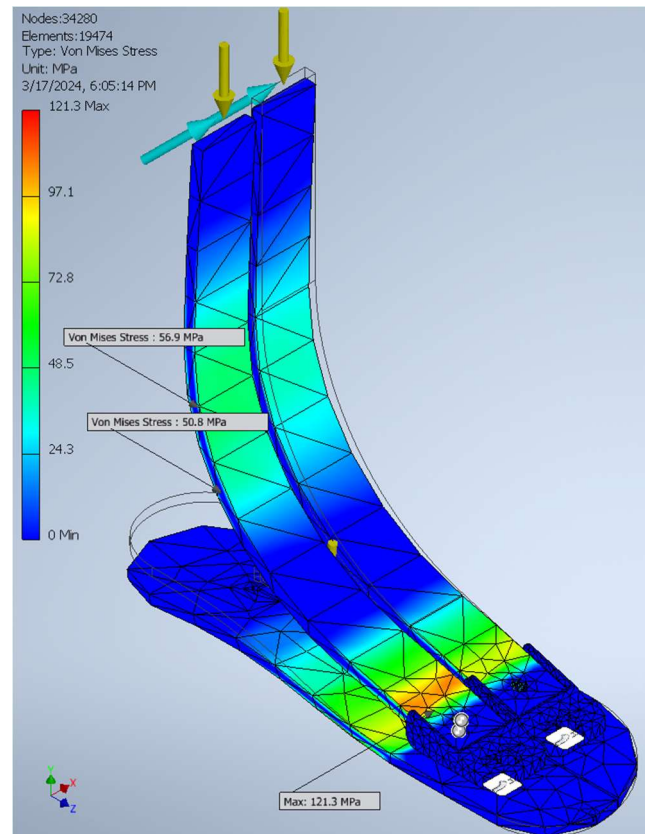
#### 4.1.4 Pie, simulación y fatiga

Con las medidas obtenidas en el paso anterior para tener una rigidez de 35 kN/m, se diseña en CAD el prototipo con los tendones en J, la planta del pie, y las placas de junta entre los dos componentes. En este ensamble hay dos puntos críticos que fueron calculados manualmente: la junta en los tendones en J, y el comienzo de la curva del talón donde se levanta el perfil. Ensamblando los componentes para el análisis se obtiene la figura mostrada a continuación



*Figura 35 Diseño CAD de las piezas de CFRP del pie*

A este modelo se le aplican las cargas distribuidas entre los dos tendones y el talón del pie como indica la distribución de presiones en Alava (2020) de los 800 N de peso, y se empotra la base de los metatarsianos que están debajo de la unión de piezas, antes de los dedos. Este es el caso crítico de dorsiflexión cuando hay mayor flexión de los componentes. Con estas condiciones se obtienen los esfuerzos reflejados en la siguiente figura.



*Figura 36 Esfuerzos en dorsiflexión de las piezas de CFRP*

Se observa que el esfuerzo máximo se encuentra en la unión del tendón interno que recibe la mayoría de la carga (55% vs 45% del externo), con 121.3 MPa. Esta unión también causa esfuerzos en la planta del pie ya que el talón fleja con este punto empotrado, reportando valores cercanos a 90MPa si se observa el mapa de calor. Los tendones en J tienen un esfuerzo mayor en la curvatura, de entre 50 a 60 MPa. Es justo en esta zona donde el esfuerzo en fatiga se presenta, ya que es el punto de mayor deflexión.

La determinación de vida en fatiga es un proceso complicado, más aún en materiales compuestos como el CFRP. Un estudio experimental muestra la vida en fatiga de un componente de CFRP en función de su rango de esfuerzo y su esfuerzo máximo (Song, Zang, Duan, & Jiang, 2019). El estudio determina los siguientes rangos de vida para las diferentes cargas, observadas en la siguiente figura.

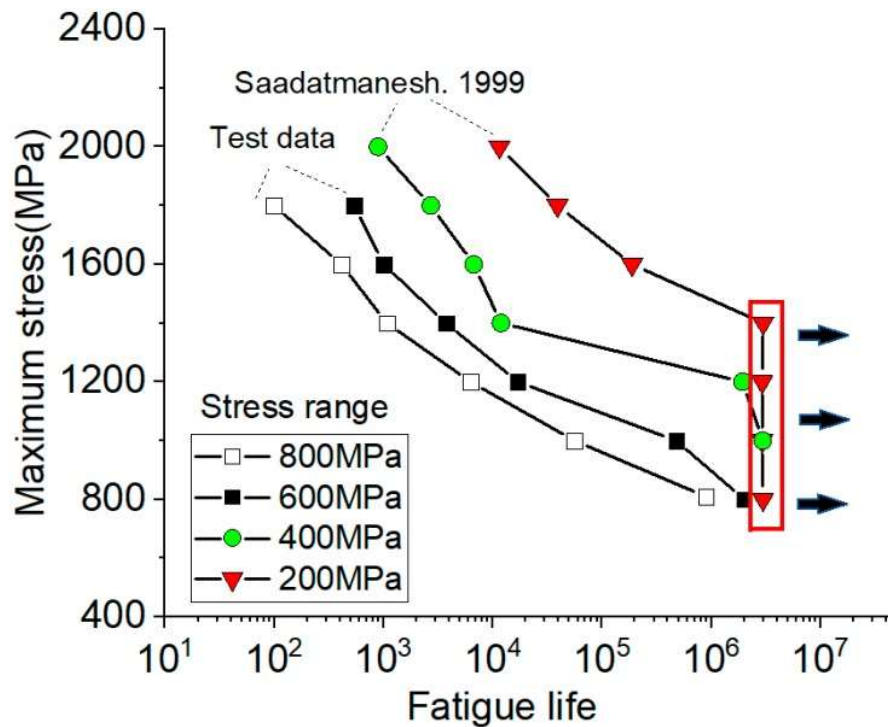


Figura 37 Vida a Fatiga vs Esfuerzo Máximo (Song, Zang, Duan, & Jiang, 2019)

Tomando valores conservativos, en el anterior análisis de viga en flexión se determinó un esfuerzo máximo de 413 MPa, en los que la fatiga oscilaría entre 0 cuando el pie esté levantado y 413 MPa en dorsiflexión. Como concluyen Song, Zang, Duan, & Jiang (2019), cualquier oscilación por debajo de los 800 MPa de esfuerzo máximo alcanzó los 2 millones de ciclos, con lo que se puede concluir que el diseño puede superar los  $10^7$  ciclos, con lo que una persona de muy alta intensidad, estimando unos 5000 pasos al día, puede usar este equipo por al menos 5 años antes de que se deteriore. Para referencia se tomó datos propios de salud usando la aplicación Fitness de iPhone, que ha registrado 3700 pasos en promedio desde octubre de 2022, y se ha mantenido un estilo de vida moderadamente activo.

## 4.2 Análisis del Sistema Dinámico del Pie

Durante en análisis de la prótesis de pie, uno de los puntos importantes es tratar de predecir el funcionamiento de esta, para lo cual es importante modelar este sistema de modo que se pueda observar la relación entre su comportamiento y los valores de las propiedades mecánicas de sus componentes. Este acercamiento permite probar y analizar varios resultados de manera más sencilla y previo a la fase de manufactura, por lo que es una herramienta útil en el desarrollo de este proyecto.

Dentro de este sistema se cuenta con un componente de fibra de carbono, el cual funcionará como resorte con la función de almacenar energía para darle al usuario el impulso necesario al terminar de realizar un paso. Este componente es esencial ya que disminuye el cansancio y fatiga en la pierna que no ha sido amputada. Por otro lado, según por Naseri, Moghaddam, Grimmer, & Sharbafi (2022) incluir un amortiguador, el cual absorberá y disipará cierta energía del ciclo de marcha, provee mejor estabilidad y seguridad, además de reducir la pérdida inadecuada o el desplazamiento hacia atrás del CoP (Center of Pressure, concepto similar al centro de gravedad) para minimizar el efecto de frenado que los pies ESAR (Energy Storage and Return) comúnmente tienen, ya que al estar hechos CFRP esta funciona como resorte, pero no como un amortiguamiento adecuado. De esta manera, el sistema que se busca analizar es el siguiente:

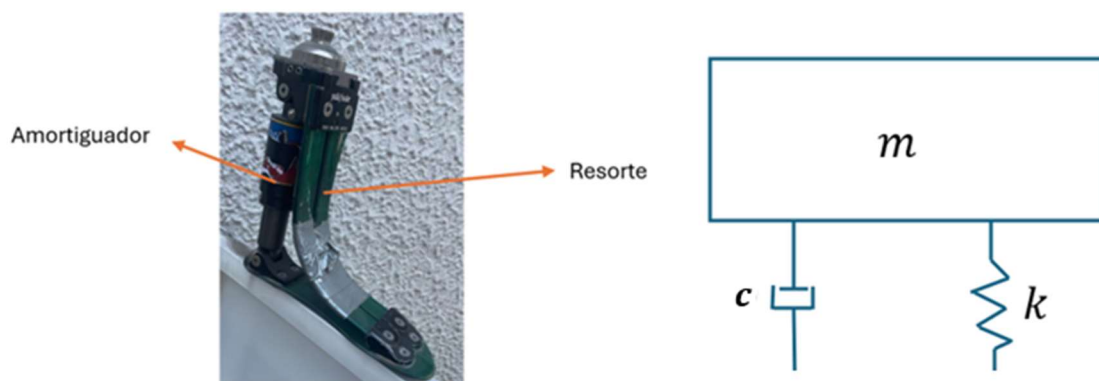


Figura 38 Componentes del sistema de la prótesis del pie

En la figura anterior, a la izquierda, se muestra una prótesis de pie acorde a las necesidades previamente expuestas, y a la derecha el sistema que representa la misma. Así, se cuenta con un coeficiente de amortiguamiento y uno de rigidez del resorte, los cuales están relacionados al amortiguador y a la fibra de carbono respectivamente. Además, se puede observar también una masa, la cual está relacionada al peso que la prótesis del pie soportará, el cual, a su vez, se relaciona al peso de la persona.

Por otro lado, para resolver el sistema anteriormente expuesto, es importante conocer la forma en la que el sistema será estimulado. Así, teniendo en cuenta que se está modelando una prótesis de pie, entonces las fuerzas externas que aparecen en el sistema son las de reacción en el suelo al dar un paso; de modo que el estímulo buscado se ubica en la base del sistema y es una fuerza variable que hará oscilar al amortiguador, el resorte y la masa. Este tipo de estimulación del sistema es conocida como excitación de base. Para analizar este tipo de sistemas se utiliza la posición relativa, entre la base y la masa de interés, de modo que se obtiene una ecuación diferencial de segundo orden en la que la variable buscada es la función que determina el movimiento de la masa debido a una estimulación. Así, el diagrama de cuerpo libre del sistema es el siguiente:

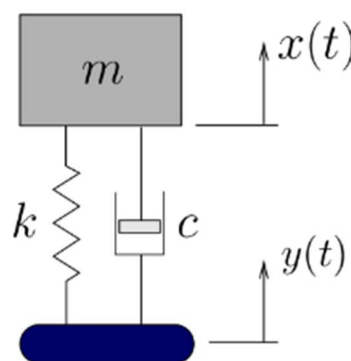


Figura 39 Diagrama del sistema con la excitación de base

En el diagrama anterior, la función de interés es  $x(t)$ , la cual representa el desplazamiento que tendrá la masa, y consecuentemente, el del resorte y el amortiguador. Por otro lado, la

función  $y(t)$  es la excitación o perturbación de base que recibe el sistema. De esta manera, al analizar la masa, dado  $y(t)$ , se obtiene lo siguiente:

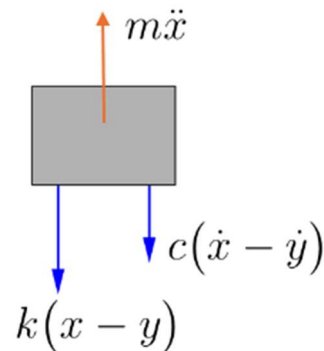


Figura 40 Diagrama de cuerpo libre de la masa del sistema de la prótesis del pie

En donde se puede observar que las fuerzas a las que la masa está expuesta son la del resorte y del amortiguador, las cuales dependen del desplazamiento de la base y de sí mismos. Así, este problema puede ser resuelto con una sumatoria de fuerzas en el eje vertical.

$$+\uparrow \sum F_y = m\ddot{x}$$

$$-k(x-y) - c(\dot{x}-\dot{y}) = m\ddot{x}$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = ky + c\dot{y}$$

De la ecuación anterior, la parte izquierda es la respuesta del sistema, y la parte derecha es el estímulo que recibe el mismo. Como se puede observar en la ecuación anterior, cada uno de sus términos está expresado como fuerza en función de desplazamientos, velocidades y aceleraciones. Así, con el fin de poder visualizar la respuesta numérica del mismo, se tomó entrada la función de fuerza variable expuesta por Naseri, Moghaddam, Grimmer, & Sharbafi (2022):

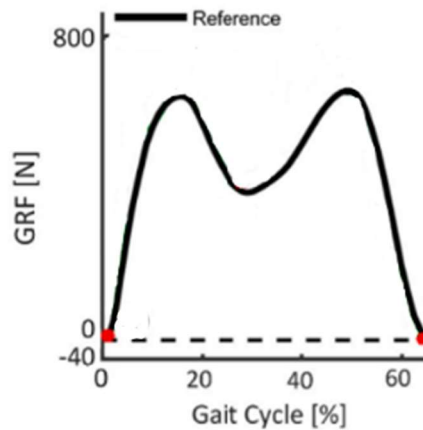


Figura 41 Función de fuerza que será la entrada al sistema de la prótesis del pie

En donde se expone la fuerza de reacción en el pie en un paso. En la imagen anterior se puede ver que el eje horizontal está dado por el ciclo de marcha, mientras que el vertical por la fuerza de reacción vertical del suelo. Estos datos, según los autores, fueron medidos en una placa de presión con 4 sensores de fuerza, uno en cada esquina. Es importante mencionar que, en el eje horizontal, el ciclo de marcha va de 0% a 65% aproximadamente; esto es porque durante este rango el pie está topando el suelo, mientras que fuera de este rango, el pie se encuentra en la fase de swing, en la cual no se experimenta ninguna fuerza ya que no hay contacto con el suelo.

De esta manera, volviendo a la ecuación obtenida, y sabiendo que se conoce la función de fuerza del sistema, entonces se la puede expresar de la siguiente forma:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_{in}$$

Para encontrar la respuesta de este sistema, es decir, la función  $x(t)$ , se aplica la transformada de Laplace considerando condiciones iniciales nulas, es decir, el desplazamiento y velocidad del sistema justo antes de que el pie tope el suelo son cero; y se obtiene lo siguiente:

$$L\{m\ddot{x} + c\dot{x} + kx\} = L\{F_{in}\}$$

$$ms^2X(s) + csX(s) + kX(s) = F_{in}(s)$$

$$X(s)(ms^2 + cs + k) = F_{in}(s)$$

Obteniendo así, la siguiente función de transferencia:

$$\frac{X(s)}{F_{in}(s)} = \frac{1}{ms^2 + cs + k}$$

La cual debería resolverse encontrando una función que describa a  $F_{in}$ , aplicando la transformada de Laplace a dicha función, y multiplicándola en el lado derecho de la ecuación, obteniendo algo como esto:

$$X(s) = \frac{F_{in}(s)}{ms^2 + cs + k}$$

Para luego aplicar la transformada inversa de Laplace a ambos lados, obteniendo así la función  $x(t)$ , es decir, la forma en la que oscilará la masa, y debido a esta oscilación, el resorte y el amortiguador. Sin embargo, ya que la función de fuerza puede llegar a ser compleja, se utilizará Simulink de la empresa de MathWorks, el cual resuelve este tipo de problemas utilizando Diferencias Finitas. Para usar Simulink se requiere la función de transferencia encontrada, y la función de la fuerza sin haberle aplicado la Transformada de Laplace, es decir en el dominio de tiempo. De modo que el diagrama es el siguiente:

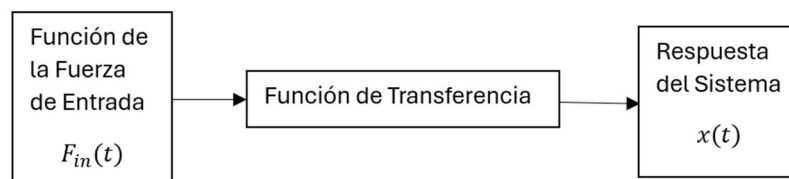


Figura 42 Diagrama base a utilizar en Simulink para resolver el sistema

Para encontrar la función de la fuerza en entrada en el tiempo, se debe realizar una suposición respecto al tiempo en el que se da un paso. El tiempo de paso depende de la velocidad con la que se camina y la longitud de la pierna. Así, se usará un tiempo de paso de 0.625 segundos, valor que se obtiene de promediar el tiempo de paso de los autores Godfrey, Barry, Del Lin, & Mathers (2015) de 0.53 segundos y de los autores Singleton, Keating, McDowell, Coolen, & Wall (1992) de 0.72 segundos. Además, usar este valor para el tiempo de paso concuerda



con Naseri, Moghaddam, Grimmer, & Sharbafi (2022), quienes utilizan un valor de 0.65 segundos para sus simulaciones, el cual está muy cerca al tiempo determinado previamente. Por otro lado, se utiliza la herramienta de Simulink llamada Signal Editor, la cual permite crear una función dando únicamente puntos coordenados sobre la curva. Luego, la función creada a base de coordenadas sirve como entrada a la función de transferencia encontrada. De esta manera, con el fin obtener puntos coordenados de la función de fuerza, se coloca una cuadrícula sobre dicha función, y se obtienen puntos coordenados.

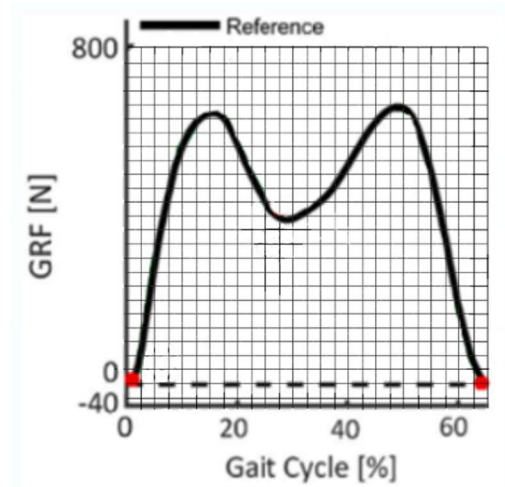


Figura 43 Función de fuerza cuadrículada para obtener puntos coordenados

En la figura anterior, cada división corresponde a 2.5% en el eje horizontal y a 33.33 N en el eje vertical. Así, se obtiene la siguiente función de fuerza:

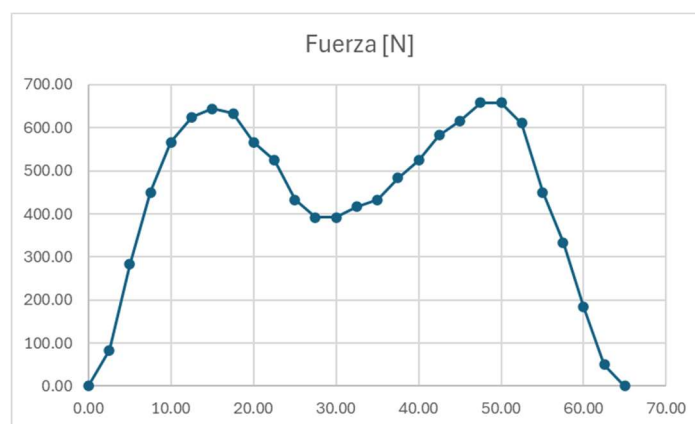


Figura 44 Función de Fuerza de entrada para el sistema

Para el resto de los porcentajes del ciclo de marcha el valor de la fuerza es 0 N ya que el pie se encuentra en la zona de swing, de modo que no hay contacto.

Luego, con el fin de observar el comportamiento del sistema dada una función de fuerza entrada, se creó el siguiente programa de MATLAB, el cual permite crear un arreglo de 1 dimensión que contiene las coordenadas del eje horizontal del tiempo de paso, y otro arreglo con los valores de la fuerza. El código utilizado es el siguiente:

```
clear variables;
close all;
clc;

num_curve = [0];
porcentaje = linspace(0,100,41);
data = [0];
step_time = 0.625;

for j = 1:length(num_curve)

    for i = 1:length(porcentaje)

        if i > 1

            data = [data step_time*(porcentaje(i)/100) + num_curve(j)*step_time];

        end

    end

end

F_in = [0, 83.33, 283.31, 450, 566.61, 624.94, 644.27, 633.27, ...
        566.61, 524.95, 433.29, 391.63, 391.63, 416.63, 433.29, ...
        483.29, 524.95, 583.28, 616.61, 658.27, 658.27, 610.94, ...
        450, 333.30, 183.32, 50];

for i = length(F_in):40

    F_in(i) = 0;

end
```

Figura 45 Código utilizado para obtener las coordenadas horizontales del tiempo de paso

En el código anterior, la variable *num\_curve* indica la cantidad de pasos para los que se quiere obtener los datos de la curva, en este caso, su valor es 0 ya que se desea visualizar únicamente un paso. La variable *porcentaje* guarda el porcentaje de tiempo que se debe aplicar a los 0.625 segundos que dura un paso. La variable *data* guardará los porcentajes de tiempo que serán enviados a Signal Editor, y la variable *step\_time* es el tiempo que demora el paso. Finalmente, con los valores de fuerza antes obtenidos previamente se crea un arreglo,

y se llena el resto de las posiciones del mismo con ceros (los valores de ceros indican que no hay contacto entre el pie y el suelo) para que la dimensión de ambos arreglos sea la misma.

Luego, al ingresar los valores de los dos arreglos a la herramienta de Signal Editor de Simulink, se obtiene la siguiente curva:

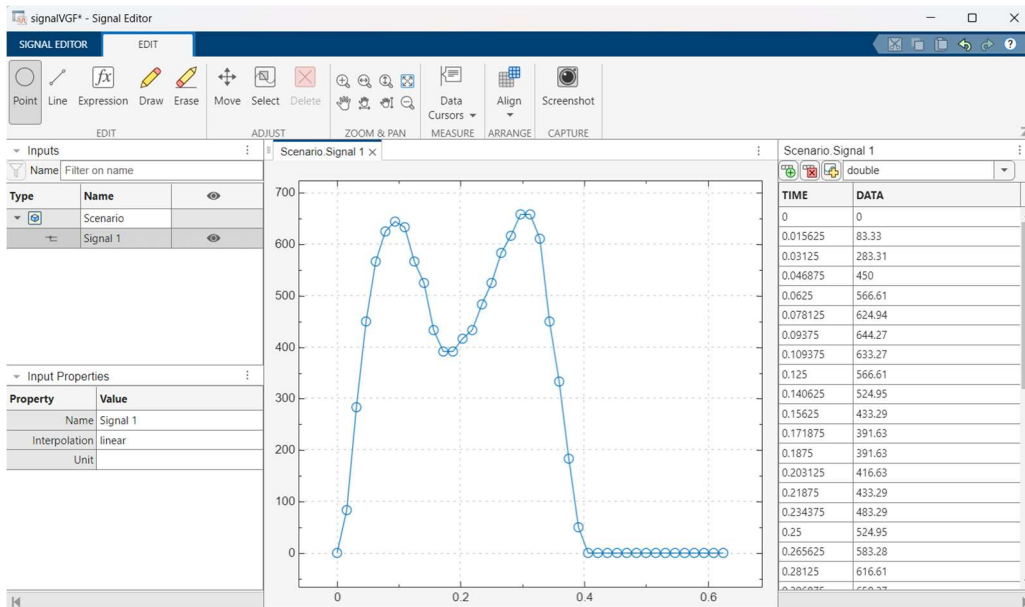


Figura 46 Gráfica de la función de fuerza obtenida en Signal Editor

A partir de este punto, se podría simular para un paso, sin embargo, para tener una perspectiva más completa de la respuesta del sistema al caminar, se colocarán varias curvas consecutivas que permitan visualizar mejor el sistema y encontrar un mejor valor de  $c$ . Para realizar esto se modifica un poco el código anterior, y se obtiene lo siguiente:

```

clear variables;
close all;
clc;

num_curve = [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7];
porcentaje = linspace(0,100,41);
data = [0];
step_time = 0.625;

for j = 1:length(num_curve)

    for i = 1:length(porcentaje)

        if i > 1

            data = [data step_time*(porcentaje(i)/100) + num_curve(j)*step_time];

        end

    end

end

F_in = [0, 83.33, 283.31, 450, 566.61, 624.94, 644.27, 633.27, ...
        566.61, 524.95, 433.29, 391.63, 391.63, 416.63, 433.29, ...
        483.29, 524.95, 583.28, 616.61, 658.27, 658.27, 610.94, ...
        450, 333.30, 183.32, 50];

for i = length(F_in):40

    F_in(i) = 0;

end

F_in = [0 F_in F_in F_in F_in F_in F_in F_in F_in];

```

Figura 47 Código utilizado para crear los datos de 4 pasos

En el código anterior se cambia la variable *num\_curve* y se aumentan los valores del 1 al 7 para obtener datos para 8 pasos, y a la variable *F\_in* se la repite 8 veces. Esto da como salida la siguiente función de fuerza:

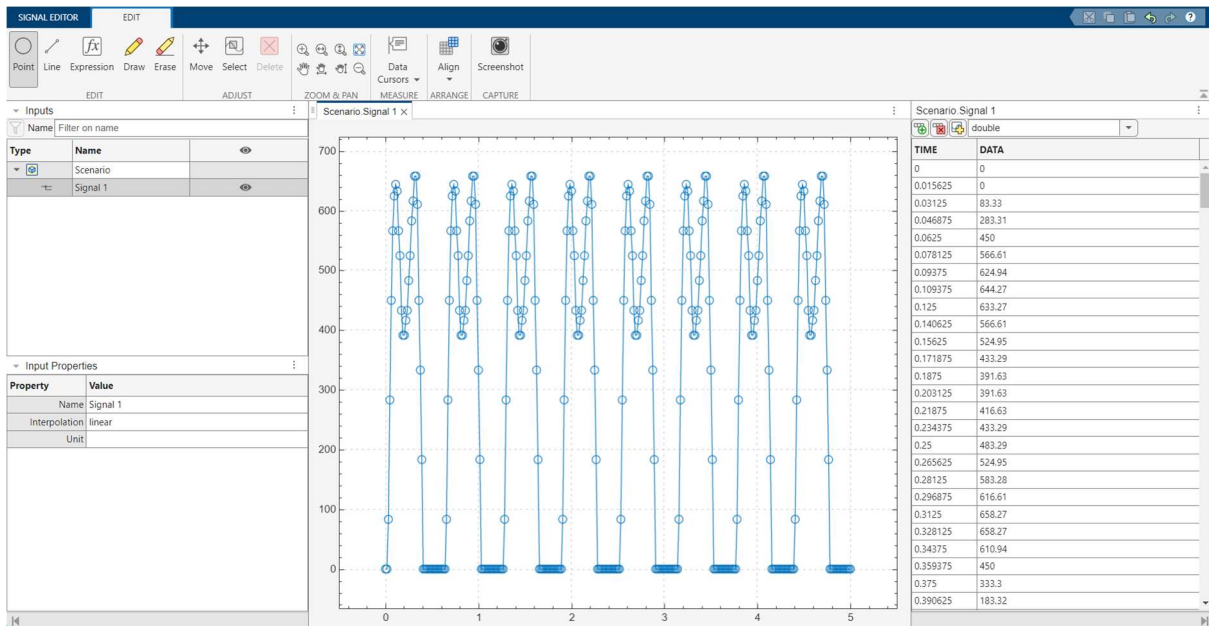


Figura 48 Gráfica de la función de fuerza de 4 pasos en Signal Editor

Luego, se realiza el diagrama anteriormente expuesto en Simulink con los datos del Signal Editor, y se obtiene lo siguiente:

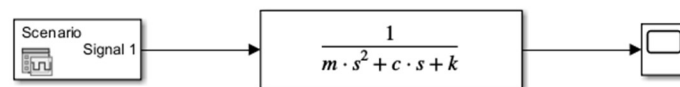


Figura 49 Diagrama del sistema en Simulink

La salida de esta simulación es la gráfica de la función  $x(t)$ , o la oscilación del sistema.

Luego, se requiere reemplazar los valores de  $m$ ,  $c$  y  $k$ . El valor de  $m$  esta relacionado a la fuerza que sentirá la prótesis de pie. Así, dada la simulación, se toma 80kg como masa de una persona, y la prótesis deberá soportar esta carga mientras la otra pierna está en zona de swing. El valor de  $k$  (rigidez del resorte) es el obtenido en la sección anterior, es decir, 35 kN/m para cada tendón de fibra de carbono. Así, teniendo en cuenta que los dos tendones están en paralelo, entonces el valor de la constante de rigidez del resorte de todo el sistema es de 2 veces el valor  $k$ , es decir, 70 kN/m. Luego, el cálculo del valor de  $c$  (constante de amortiguamiento) puede ser complicado de obtener, además de que dependerá de la comodidad del usuario, por lo que para fines de la simulación y análisis del sistema de toma

como base el sugerido por Naseri, Moghaddam, Grimmer, & Sharbafi (2022) el cual es de 5 Nm-seg/deg. Para utilizar este valor en la simulación se lo convierte a Nm-seg/rad:

$$5 \frac{\text{Nmseg}}{\text{deg}} \times \frac{180 \text{ deg}}{\pi \text{ rad}} = 286.48 \frac{\text{Nmseg}}{\text{rad}}$$

Luego, al colocar los valores en la simulación, se obtiene lo siguiente:

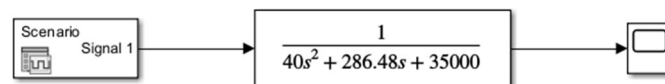


Figura 50 Diagrama del sistema con valores para cada variable en Simulink

Y la salida del sistema durante 3 segundos es la siguiente:

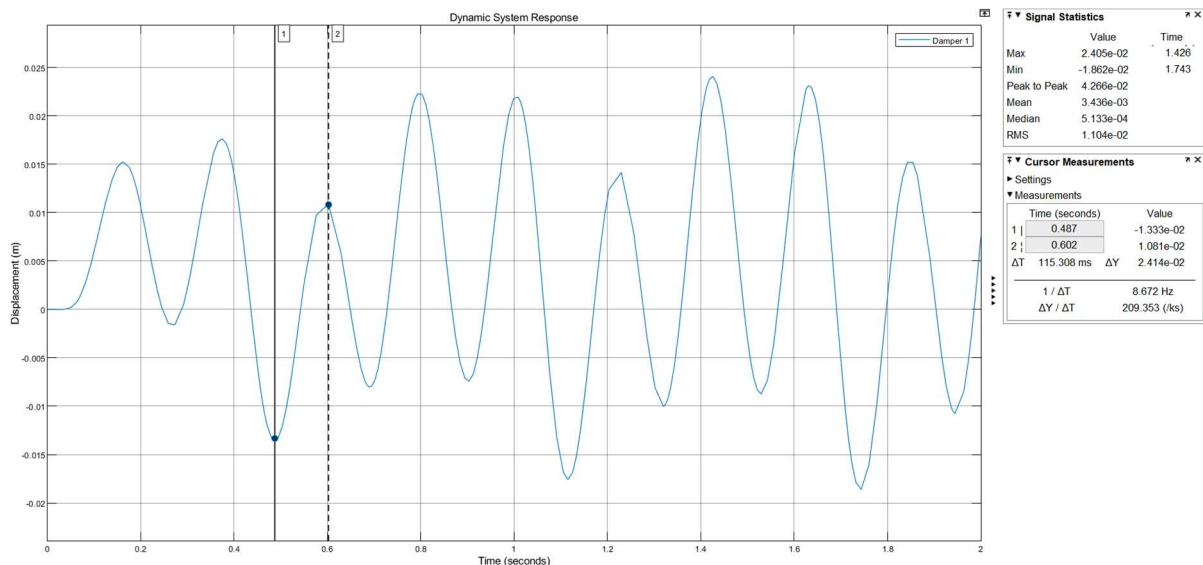


Figura 51 Respuesta del sistema dado el valor de la constante de amortiguamiento según la literatura

En la gráfica anterior se puede observar un comportamiento bastante caótico en el cual los dos primeros picos de cada periodo es la distancia que el amortiguador se comprime durante su contacto con el suelo, y el resto de los picos indican la oscilación del mismo, alcanzando un máximo de 2.41 cm, y un valor mínimo de -1.86 cm, valores que se puede observar al lado derecho de la imagen. Luego, la oscilación máxima después de cada paso es la que se observa con los indicadores 1 y 2, indicando un valor de 2.41 cm dado por la variable  $\Delta Y$ . Por otro lado, es importante notar que la curva tiene partes negativas lo que muestra que el

amortiguador se está estirando, por lo que este debería estar ya comprimido un poco al inicio, dificultando el diseño y la adquisición del mismo. Así, se concluye que el valor de amortiguamiento sugerido por Naseri, Moghaddam, Grimmer, & Sharbafi (2022) es muy bajo, lo que se puede deber a que dichos autores utilizan más componentes además de la fibra de carbono. Luego, con el fin de buscar una respuesta más suave y evitar que el amortiguador tenga que estirarse, se pueden probar varios valores para la constante de amortiguamiento. Luego de algunas iteraciones e ir observando la salida del sistema, se encuentra que el **valor mínimo de  $c$  debe ser de  $4000 \text{ Nmseg/rad}$** . Este valor de amortiguamiento permite que la oscilación termine antes de que empiece el siguiente paso; lo que es importante ya que para resolver el sistema se supuso condiciones iniciales nulas, es decir que la posición inicial y la velocidad sean cero; además de que con este valor de  $c$  no existe un alargamiento del amortiguador. La respuesta del sistema obtenida es entonces:

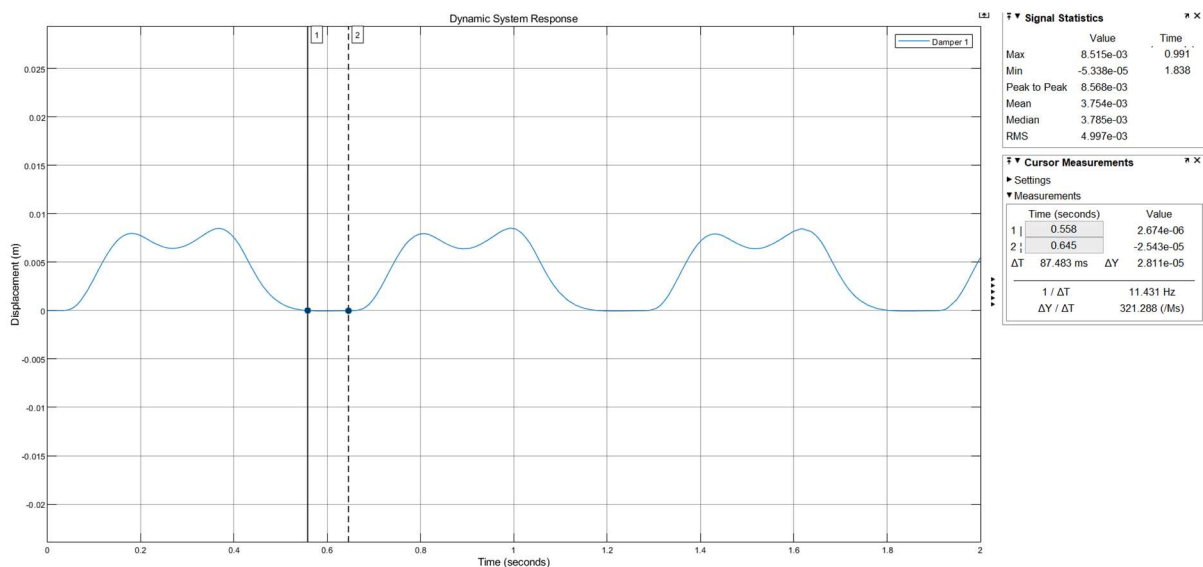


Figura 52 Respuesta del sistema según el valor de la constante de amortiguamiento propuesto

En la gráfica anterior se observa un comportamiento bastante suave, y en el que el alargamiento del amortiguador es casi nulo, con un valor de 0.028 mm, además de que el valor mínimo de la curva es de -0.05mm. Por otro lado, se aprecia mejor la forma en la que

oscilará el amortiguador cuando el pie está en contacto con el suelo ya que los dos únicos picos de cada periodo representan la fuerza de entrada, los cuales tienen una forma parecida. De esta manera, se concluye que el valor que toma la constante de amortiguamiento en este proyecto debe ser mayor al mínimo obtenido, es decir mayor a **4000 Nmseg/rad** o **69.82 Nmseg/deg**.

Con el valor mínimo de la constante de amortiguamiento ya calculado, se puede obtener el comportamiento del sistema, el cual está dado por los siguientes valores críticos:

$$\begin{cases} c < 2\sqrt{km}, & \text{subamortiguado} \\ c = 2\sqrt{km}, & \text{críticamente amortiguado} \\ c > 2\sqrt{km}, & \text{sobreamortiguado} \end{cases}$$

Luego, al reemplazar los valores, se obtiene lo siguiente:

$$4000 < 2\sqrt{70000(80)}$$

$$4000 < 4732.86$$

Observando que, con el valor mínimo de la constante de amortiguamiento el sistema es subamortiguado. Se puede notar también que el sistema está cerca de ser críticamente amortiguado, sin embargo, sobrepasar este límite y llegar a un sistema sobre amortiguado haría que el sistema deje de empezar desde una posición 0. Así, para demostrar esto se simula el sistema con el valor que haría al sistema críticamente amortiguado y se observa su comportamiento antes de empezar el siguiente paso.



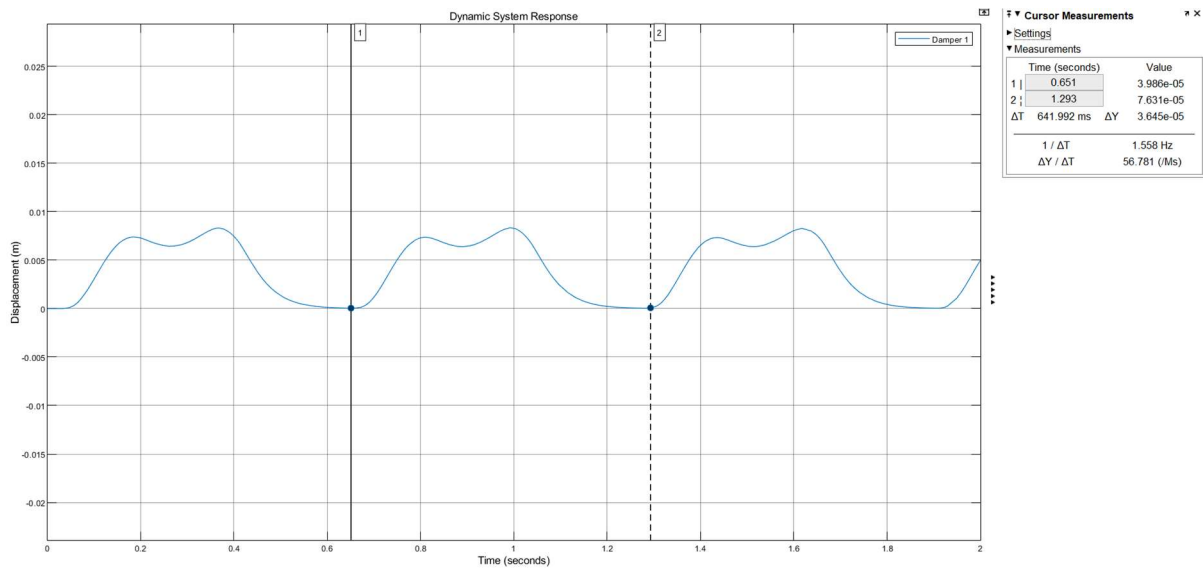


Figura 53 Respuesta críticamente amortiguada del sistema

En la imagen anterior, se observa como el mínimo de la curva es cero justo antes de que empiece el siguiente ciclo, por lo que las condiciones iniciales de que el sistema parte de una posición nula son ciertas para cada paso si el valor del amortiguamiento no excede el valor de críticamente amortiguado. Así, se puede concluir que el **valor máximo de  $c$  debe ser de 4732.68 Nmseg/rad**, o de **82.6 Nmseg/deg**, sin embargo, con valores hasta 5000 Nmseg/rad se puede tener una respuesta aún buena.

Así, la siguiente tabla muestra los valores necesarios para el sistema del pie.

Tabla 13 Valores del sistema dinámico del pie

Constante de Rigidez, $k$	Constante de Amortiguamiento	Masa [kg]
$\left[ \frac{kN}{m} \right]$	$c \left[ \frac{Nm - seg}{rad} \right]$	
35	4000 – 4732.68	80

Por otro parte, otro cálculo importante es la frecuencia natural del sistema, la cual está dada por la siguiente fórmula, y nos permite determinar las condiciones a las que el sistema pueda empezar a resonar, y volverse incómodo y hasta inseguro.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{70000}{80}}$$

$$\omega_n = 29.58 \left[ \frac{rad}{s} \right]$$

Luego, la frecuencia del sistema en Hertz es la siguiente:

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi}$$

$$f_n = \frac{29.58}{2\pi}$$

$$f_n = 4.71 [Hz]$$

Finalmente, se puede obtener el periodo que genera dicha frecuencia natural mediante la siguiente fórmula:

$$f_n = \frac{1}{T_n}$$

$$T_n = \frac{1}{f_n}$$

$$T_n = \frac{1}{4.71}$$

$$T_n = 0.21 [seg]$$

Así, el resultado anterior indica que si el periodo de la fuerza de entrada al sistema es de 0.21 segundos, entonces el sistema empezará a oscilar y resonar. Con el fin de demostrar esto, hay que realizar un análisis de la función de fuerza. Esta función indica los valores de fuerza ejercidos en la planta del pie durante un paso que dura 0.625 segundos. En ese lapso, únicamente durante el 65% del tiempo se tienen valores de fuerza diferentes de cero, es decir, durante 0.406 segundos, por lo que el periodo efectivo de la función es de este tiempo; tomar el paso completo como periodo haría que el análisis matemático estire hacia los lados la

función de fuerza hasta que los valores de fuerza mayores a cero ocupen todo el tiempo de paso, dando resultados irreales. Luego, comparando el tiempo de fuerza efectivo, y el periodo de oscilación natural, se puede observar que su relación es de aproximadamente la mitad, por lo que para que el sistema oscile, el input debería ser de aproximadamente la mitad de la función de fuerza. De esta manera, se puede modificar un poco el código presentando anteriormente para obtener una función de fuerza de la mitad del tiempo.

```

num_curve = [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15];
porcentaje = linspace(0,100,41);
datar = [0];
step_time = 0.625/1.915

for j = 1:length(num_curve)

    for i = 1:length(porcentaje)

        if i > 1

            datar = [datar step_time*(porcentaje(i)/100) + num_curve(j)*step_time];

        end
    end
end

F_inr = [0, 83.33, 283.31, 450, 566.61, 624.94, 644.27, 633.27, ...
        566.61, 524.95, 433.29, 391.63, 391.63, 416.63, 433.29, ...
        483.29, 524.95, 583.28, 616.61, 658.27, 658.27, 610.94, ...
        450, 333.30, 183.32, 50];

disp(length(F_inr))

for i = length(F_inr):40

    F_inr(i) = 0;

end

F_inr = [0 F_inr F_inr F_inr F_inr F_inr F_inr F_inr F_inr F_inr F_inr F_inr F_inr F_inr F_inr];

```

*Figura 54 Código para observar la respuesta del sistema con una entrada igual a la frecuencia natural*

En la imagen anterior se puede observar como la variable *step\_time* esta dividida para 1.915. Este valor hace que el tiempo en el que existen valores de fuerza mayores a cero sea del periodo natural del sistema, es decir, de 0.21 segundos. Luego, con el Signal Editor se modela la señal, y se obtiene lo siguiente:

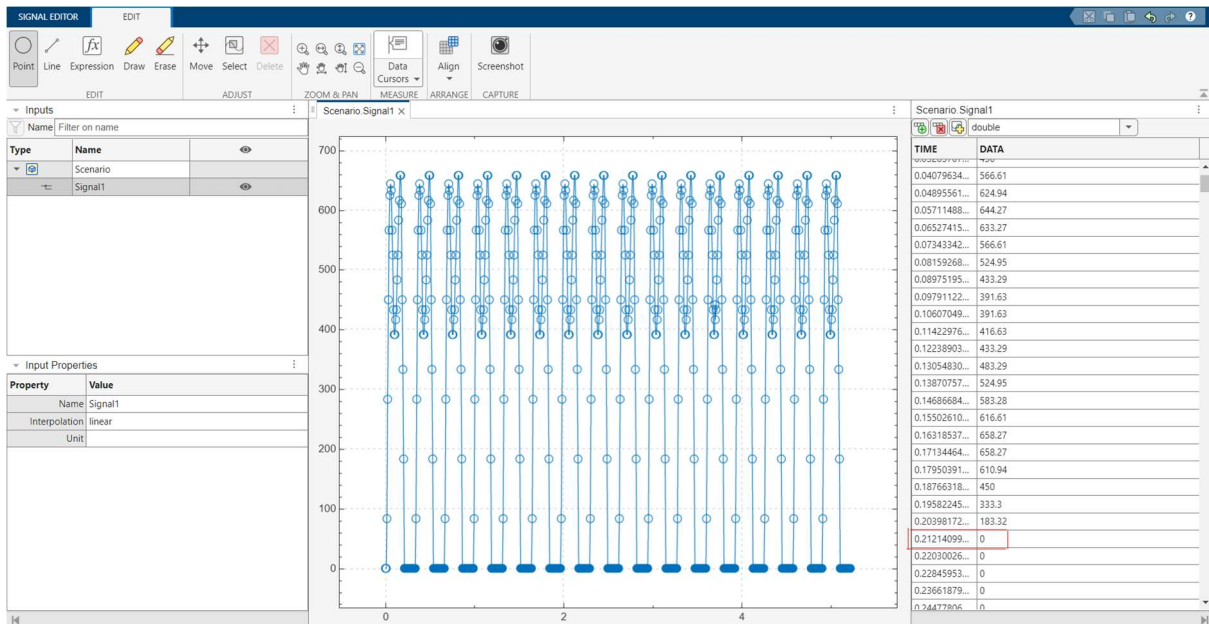


Figura 55 Función de fuerza para con la frecuencia natural del sistema

En la imagen anterior se han realizado 16 ciclos de la fuerza, y en el recuadro rojo se puede observar que el lapso en el que la fuerza es mayor que cero es de aproximadamente el periodo natural del sistema. Luego, se realiza la simulación en Simulink mediante el siguiente diagrama de bloques:

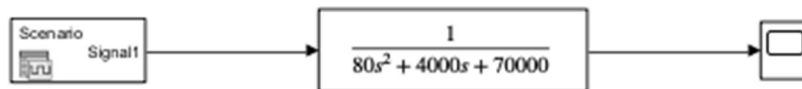
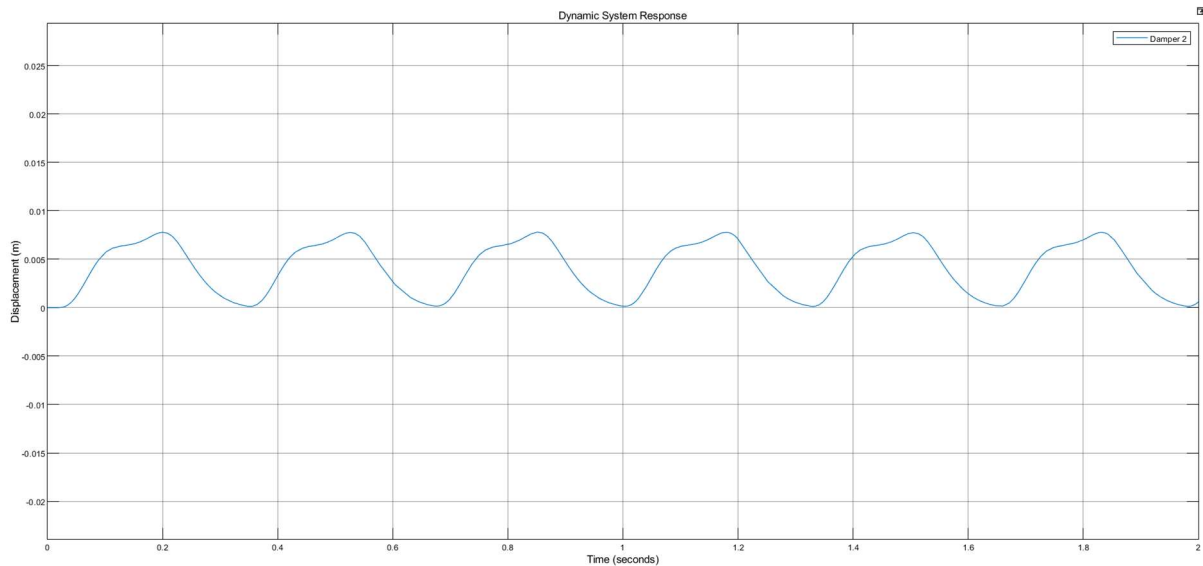


Figura 56 Diagrama de bloques para la simulación del sistema con una entrada igual a su frecuencia natural

Y la señal de salida obtenida es la siguiente:



*Figura 57 Respuesta del sistema con una entrada igual a su frecuencia natural*

En donde puede verse un comportamiento completamente oscilatorio, y en el que la resonancia es evidente; además, al observar con cuidado, se puede notar que el sistema apenas llega a ser cero, por lo que con funciones de fuerza con una mayor frecuencia harían que el comportamiento del sistema sea menos estable haciendo que la persona que use la prótesis tenga que poner un mayor esfuerzo al caminar. Se dice que el sistema sería menos estable con una mayor frecuencia en el input de fuerza ya que en la gráfica se ve como el sistema, después de cada pico, intenta estabilizarse, pero debido a que inmediatamente después de eso el sistema tiene otro input de fuerza este no logra llegar un punto de estabilidad por lo que, si la frecuencia de la fuerza de entrada es aún más grande, entonces después de cada pico la función crecerá un más.

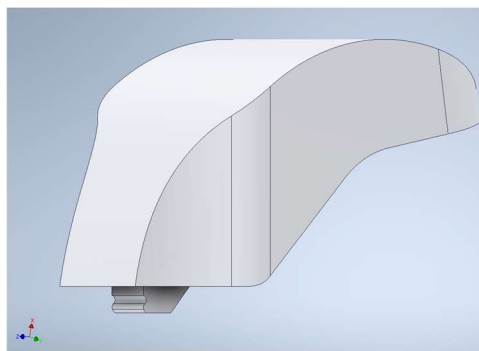
### **4.3 Sistema de Bloqueo**

El modelo planteado para el sistema de bloqueo nace a partir de la necesidad de un tope que mantenga a la rodilla estirada cuando esta se mantiene en posición cercana a horizontal, de manera que el swing sea posible y se pueda dar el heel strike sin problema. También se vuelve necesario para aportar seguridad al usuario mientras este se encuentre de

pie, para que la rodilla no se flexione por cualquier mínimo esfuerzo. La idea es agregar un sistema tipo lengüeta, la cual se encajaría con el tope superior al momento en que la rodilla se encuentre estirada. Es necesario que esta se mantenga en esta posición hasta que el usuario aplique una fuerza posterior al heel strike. A continuación, se muestran los componentes que serán parte de este mecanismo.

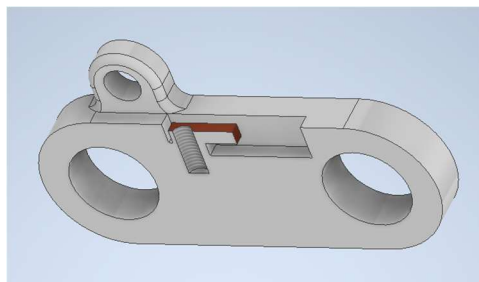


*Figura 58 Vista interior del anclaje posterior (Rodilla Policéntrica).*



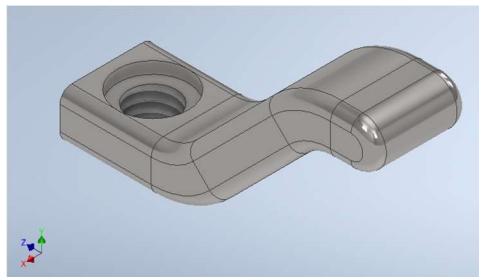
*Figura 59 Tope de policarbonato (ancla del sistema).*

Se plantean los cambios en el diseño ya que la implementación de un sistema de lengüeta rígido horizontal presenta complicaciones al momento en que este se utilice como un bloqueo vertical.



*Figura 60 Vista interior del sistema de lengüeta rígida horizontal.*

Con las modificaciones presentadas en la Figura 4 se logra una deformación vertical y horizontal sin necesidad de la transferencia de momento en la punta y sin depender completamente de lo que es la flexión del material en sentido vertical sino también plasmarlo desde la posición de un ángulo de 45 grados el cual permitiría una deflexión en x y en y mucho más sutil.



*Figura 61 Vista del pin interior del anclaje posterior (Rodilla Policéntrica).*

El sistema funciona con una lengüeta metálica doblada que hace el trabajo de un pin. Este pin aporta resistencia al sistema al engancharse del tope de policarbonato como se muestra en la Figura 5. No existe transferencia de momento en el pin por lo que la ranura del tope es completamente curva, solo existe transferencia de fuerza, por lo que se plantea que la fuerza mínima necesaria que debe aguantar el pin es el peso de la pierna una vez que esta se encuentre estirada. Según Farai (2021), una pierna protésica para amputaciones transfemorales pesa alrededor de 8 lb, esto es 35.38 N, por lo que  $P = 35.38 \text{ N}$ . Otra consideración importante es que se va a plantear los cálculos sobre la sección inclinada de la lengüeta, sabiendo que sobre esta sección tendríamos los puntos más críticos.

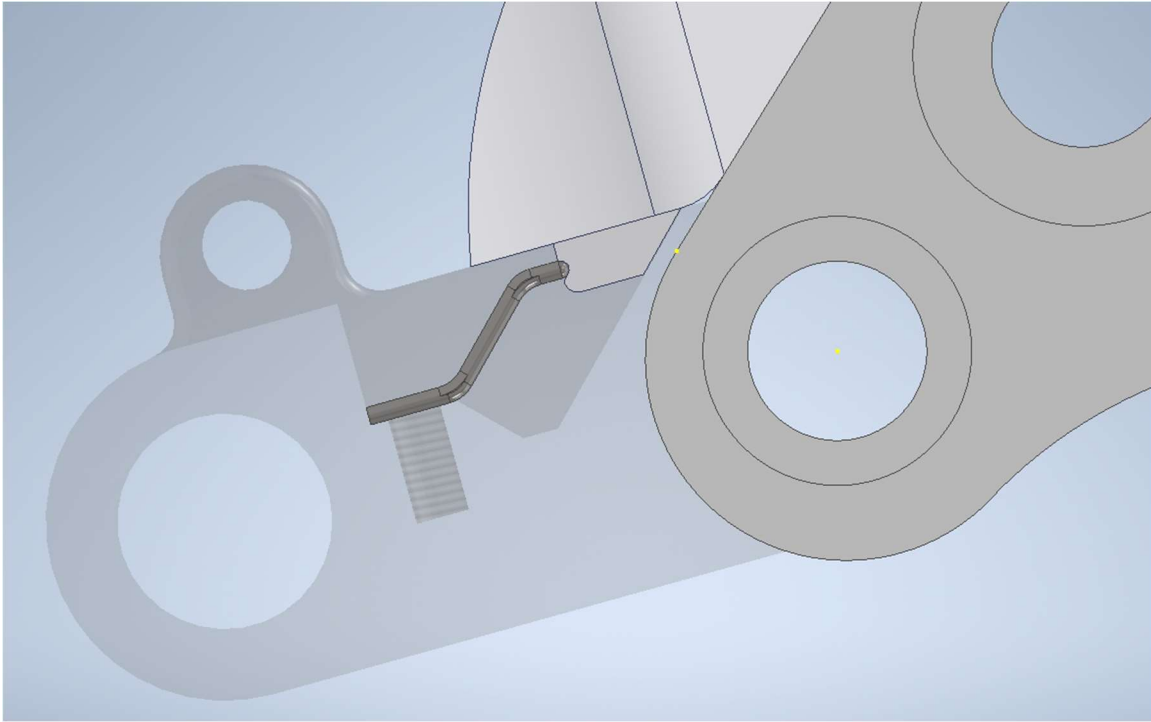


Figura 62 Ensamble del Sistema de Bloqueo.

Por consiguiente, se plantean las siguientes aproximaciones para los cálculos correspondientes a la barra (lengüeta) del sistema de bloqueo.

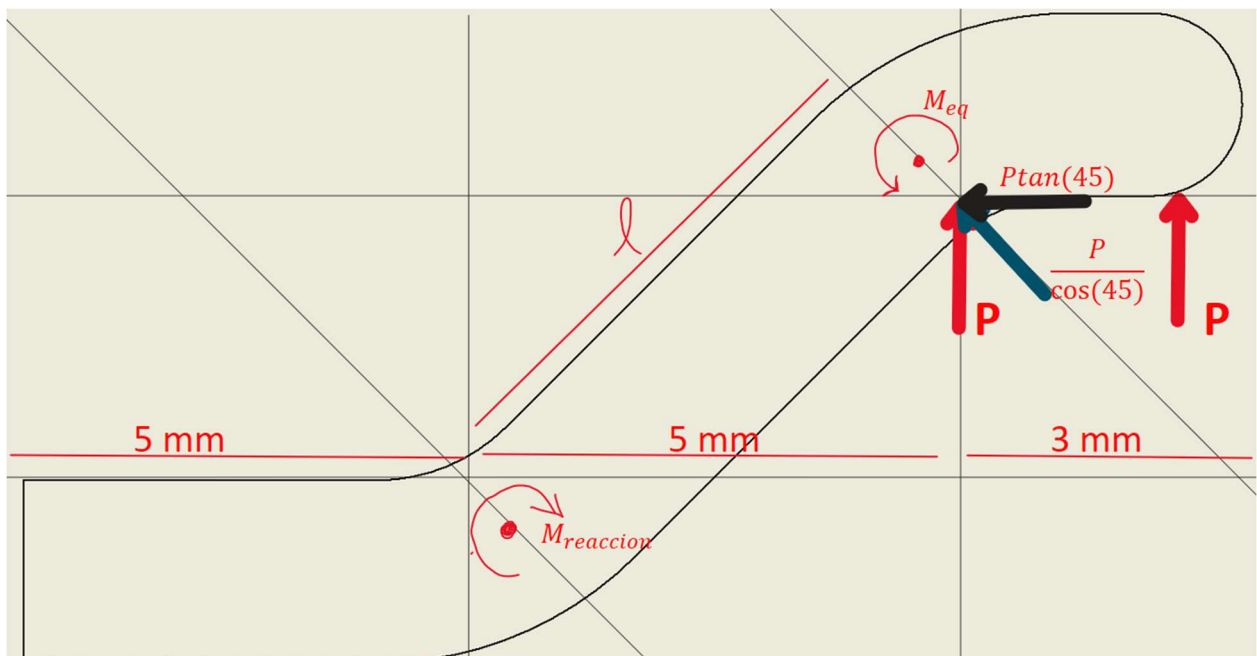


Figura 63 Diagrama de cuerpo libre del pin.



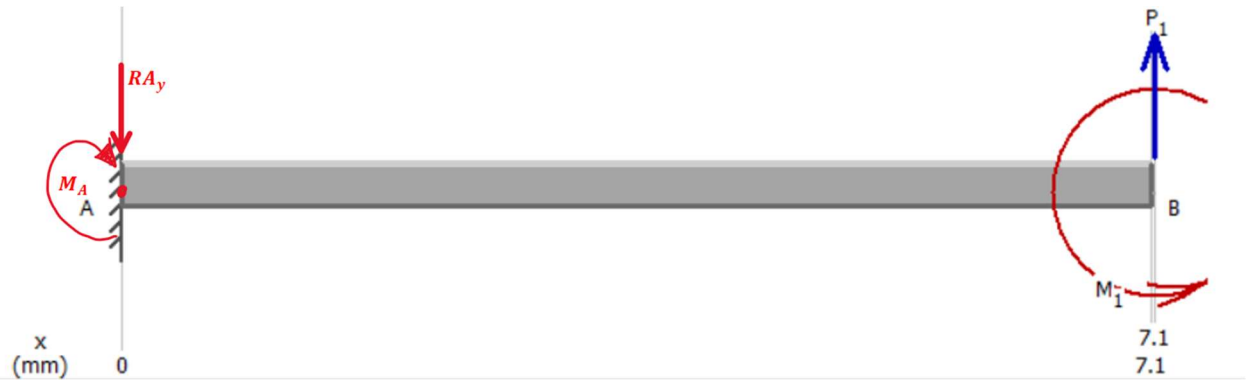


Figura 64 Diagrama de cuerpo libre aislado de la sección inclinada del pin.

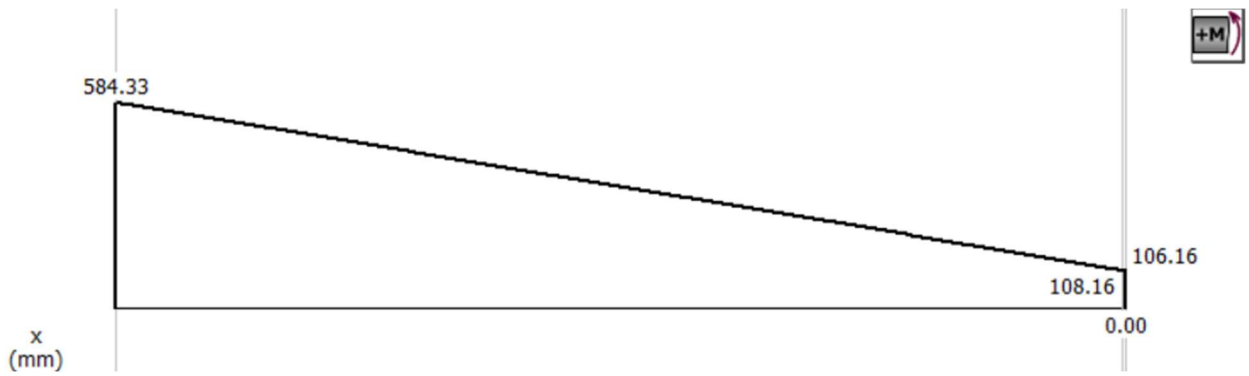


Figura 65 Diagrama de momento flector para la sección inclinada de la figura 7.

### ***Espesor mínimo***

El material de la lengüeta es acero, el mismo que tiene un  $S_y$  ( $\sigma$ ) de 250 MPa, la base (b) de la barra es 4 mm y la longitud (L) es  $l = \frac{5}{\cos(45)} = 5\sqrt{2}$  mm y el espesor de la barra será denotada por t. Con estos datos el primer paso es calcular el espesor mínimo ( $t_{min}$ ) que debería tener la barra para que la misma no falle, es decir no se rompa. P es el peso que se debe vencer, esto es 35.38 N, por lo que  $P = 35.38$  N. Para esto se plantea las siguientes ecuaciones, basándose del análisis realizado en la figura 7.

$$\sigma = \frac{Mc}{I}, \text{ donde } M = P_1L, c = \frac{t}{2} \text{ y } I = \frac{1}{12}bh^3, \text{ donde } h = t, \text{ por lo tanto } I = \frac{1}{12}bt^3.$$

La longitud A-B de la figura 7 sería la longitud de la sección inclinada de la figura 6,  $P_1 = \frac{P}{\cos(45)}$  y  $M_1 = 3P$ . Con esto se plantean las siguientes ecuaciones:

$$\sum M_A = 0, \text{ counterclockwise positive}$$

$$-M_A + M_1 + P_1l = 0$$

$$M_A = 3P + \frac{P}{\sin(45)} \cdot 5\sqrt{2} [N \cdot mm]$$

$$M_A = 459.94 [N \cdot mm]$$

A partir de estas ecuaciones se plantea la ecuación del esfuerzo, considerando  $\sigma = S_y$  y reemplazando todos los datos necesarios para despejar t.

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$S_y = \frac{\frac{M_A t}{2}}{\frac{1}{12}bh^3}$$

$$S_y = \frac{6M_A t}{bt^3}$$

$$t = \sqrt{\frac{6M_A}{bS_y}} = \sqrt{\frac{6(459.94 \text{ N} \cdot \text{mm})}{(4 \text{ mm})250 \text{ MPa}}}$$

$$\mathbf{t_{min} = 1.66 \text{ mm}}$$

Por facilidad en maquinado y seguridad se va a tomar un  $\mathbf{t_{min} = 2 \text{ mm}}$ .

### Deflexión de la viga (Rigidez)



Figura 66 Corte para el cálculo de la deflexión.

La deflexión de la viga se consigue a partir de la ecuación de momento, por lo tanto, se utiliza el método analítico para plantear el momento sobre la barra. Del sistema superior se obtiene:

$$M(x) = M_1 + P_1 x$$

$$M(x) = 3P + P_1 x$$

$$M(x) = 3P_1 \cos(45) + P_1 x$$

Con esto, se utiliza  $EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M(x)$  para calcular la deflexión de la viga. Esto es necesario para plantear una ecuación de la forma  $F = kx$ , donde K representa la rigidez del sistema, F representa la fuerza ejercida sobre el sistema ( $P_1$ ) y x vendría a ser la deflexión del sistema ( $y(x)$ ), esto es basando los cálculos en la ley de Hooke.

$$EI \frac{dy}{dx} = 3P_1 \cos(45) x + \frac{P_1 x^2}{2} + c_1$$

$$EI y(x) = \frac{3P_1 \cos(45) x^2}{2} + \frac{P_1 x^3}{6} + c_1 x + c_2$$

Las condiciones iniciales para este ejercicio serían las siguientes:

$$y(L) = 0$$

$$\frac{dy}{dx}(L) = 0$$

Con estas condiciones, la ecuación de deflexión es la siguiente:

$$EIy(x) = \frac{P_1L^3}{3} + \frac{3\sqrt{2}}{4}P_1L^2$$

$$EIy(x) = P_1 \left( \frac{L^3}{3} + \frac{3\sqrt{2} \cdot L^2}{4} \right)$$

$$P_1 = \frac{EI}{\left( \frac{L^3}{3} + \frac{3\sqrt{2} \cdot L^2}{4} \right)} \cdot y(x)$$

$$K = \frac{EI}{\left( \frac{L^3}{3} + \frac{3\sqrt{2} \cdot L^2}{4} \right)}$$

Con  $I = \frac{1}{12}bt^3$  y  $E = 200 \text{ GPa} = 200 \cdot 10^3 \text{ MPa}$ , se obtiene la siguiente respuesta:

$$K = 1768.26 \frac{N}{mm}$$

$$K = 1768.26 \frac{kN}{m}$$

### ***Deflexión de la viga (Simulación)***

Con estos parámetros se simula la pieza y la deflexión que va a sufrir, cuando el mecanismo se active y se libere la rodilla para dar el paso en el ciclo de marcha. Como se ve en la siguiente figura, se tiene una deflexión máxima de 0.026mm, lo cual es lo esperado de los cálculos para soportar el peso de la pierna, se busca la deflexión mínima.

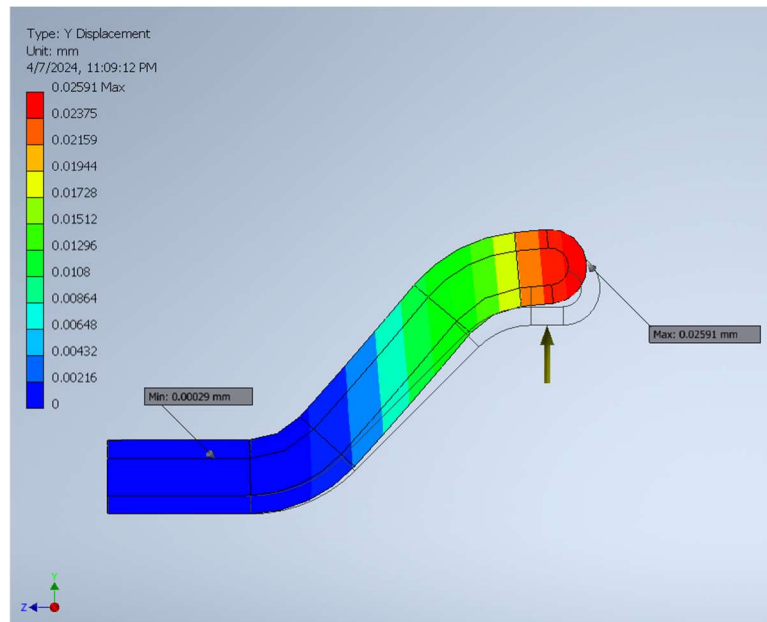


Figura 67 Simulación de deflexión de la pieza.

El esfuerzo máximo presente sobre la pieza con las condiciones planteadas es 236.5 MPa. Por consiguiente, la viga no se encuentra en falla, es importante notar que sobre la simulación el esfuerzo máximo se encuentra sobre una de las curvaturas inferiores, un espacio muy pequeño del sistema. Aun así, la viga no está en falla.

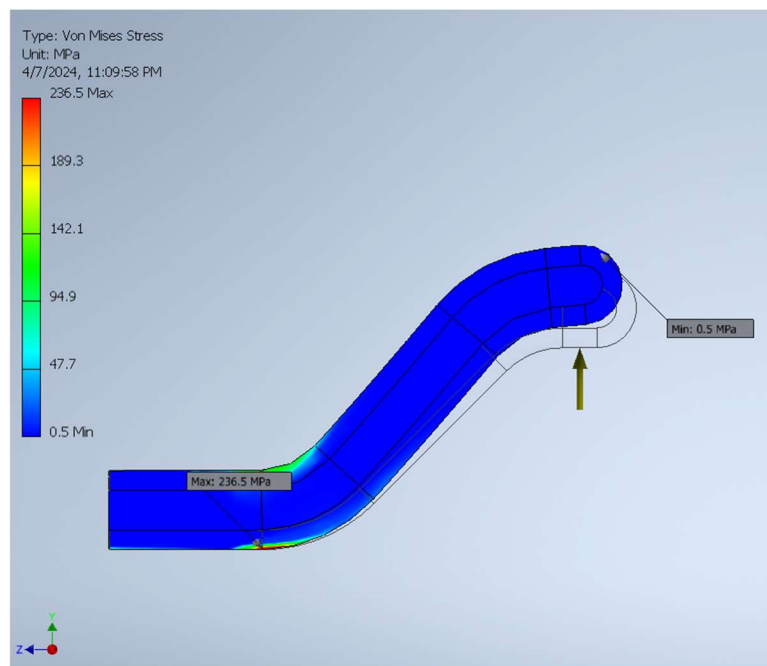


Figura 68 Simulación de los esfuerzos sobre la pieza.

Otro análisis importante es el de la reacción del policarbonato sobre el pin. Los resultados para esta sección se encuentran detallados a continuación. Es posible notar que no existe falla y que en realidad la única porción de la pieza que es afectada por el pin es la parte inferior, ya que esta parte es la que siempre está chocando con la entrada y salida del pin.

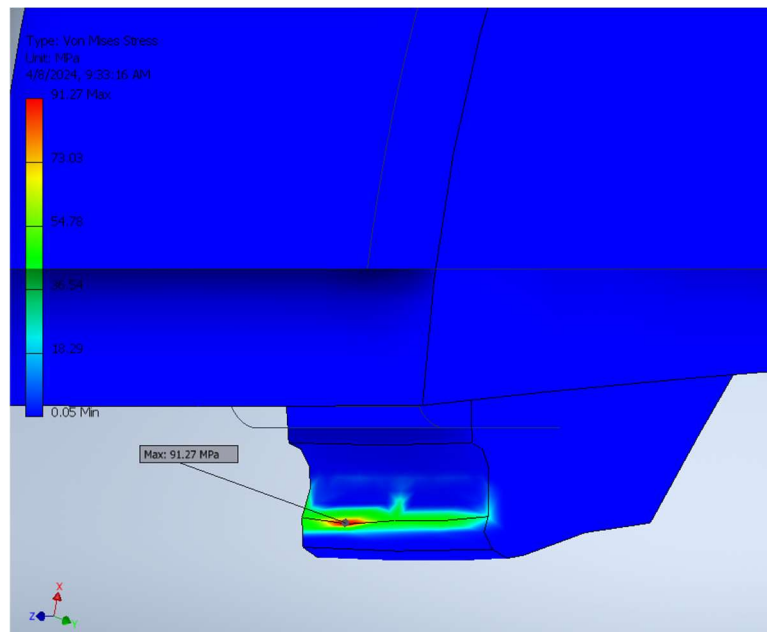


Figura 69 Simulación de los esfuerzos sobre el tope de policarbonato.

#### 4.4 Acople Piramidal

El acople piramidal sirve para unir el pie junto con la tibia que se va a incorporar en la implementación integral de la pierna. Teniendo claro el concepto del acople piramidal, se realizó un análisis del esfuerzo que podría sufrir la pirámide.

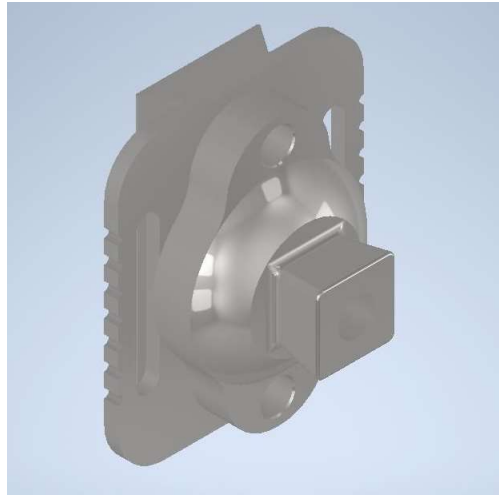


Figura 70. Diseño CAD de la pirámide del tobillo

En el análisis se toma en cuenta al momento flector  $M$ , siendo este la fuerza que va a ser ejercida en la sección transversal de la geometría;  $C$ , la distancia desde el eje neutro hasta donde se determina el esfuerzo;  $I$  siendo el momento de inercia del cuerpo, respecto al eje en flexión.

$$\sigma = \frac{M \times C}{I}$$

Tomando los conceptos de la ecuación anterior, se determinan los siguientes parámetros. Se toma a la variable  $P$  como la fuerza que va a ser ejercida sobre la pirámide y  $L$  la distancia de la pirámide.

$$M = P \times L$$

$$M = 800N \times 10mm$$

$$M = 8000Nmm$$

La distancia  $C$  se calcula en el presente caso de la siguiente forma, siendo  $h$  la distancia transversal de la geometría:

$$C = \frac{h}{2}$$



$$C = \frac{16,8mm}{2}$$

$$C = 8,4mm$$

Finalmente, se calcula el momento de inercia del cuerpo I, con el criterio de que el mismo sea calculado como un cubo.

$$I = \frac{1}{12}h^4$$

$$I = \frac{1}{12}(16,8mm)^4$$

$$I = 6638,3mm^4$$

Con los datos previamente calculados y junto con la primera ecuación, se obtiene el siguiente resultado:

$$\sigma = \frac{8000Nmm \times 8,4mm}{6638,3mm^4}$$

$$\sigma = 10,12 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma = 10,12 MPa$$

La siguiente figura hace referencia a los datos previamente expuestos, junto con la fuerza ejercida y el respectivo empotramiento.



Figura 71 Diagrama de cuerpo libre para la pirámide

Una vez realizado el análisis numérico del sistema, se modeló el siguiente acople piramidal junto con su respectivo sistema de anclaje, usando las medidas estándares de la norma

ISO24562 que señala que el radio de curvatura de la base de la pirámide debe ser de máximo 25mm para acoplarse con las conjugadas hembras.

Posteriormente se realiza una simulación de elementos finitos para contrastarlos con los datos calculados.

Para realizar la presente simulación, se tiene en cuenta que las condiciones de borde se las establece en los rieles, donde se va a asentar la carga P, previamente expuesta. Es por esta razón que, ante cualquier asunción de movimientos críticos, es en esas dos caras donde se van a colocar las condiciones de borde.

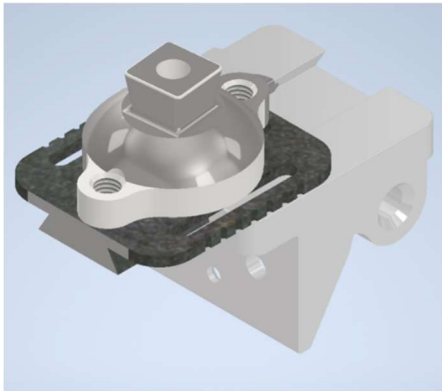


Figura 72. Pirámide y base piramidal

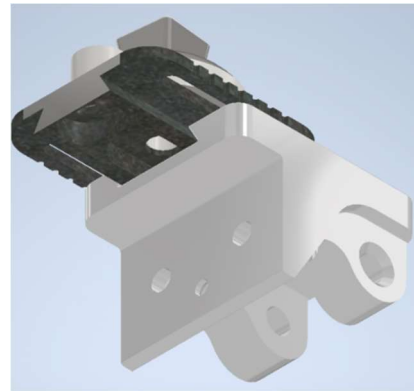


Figura 73. Pirámide y base piramidal

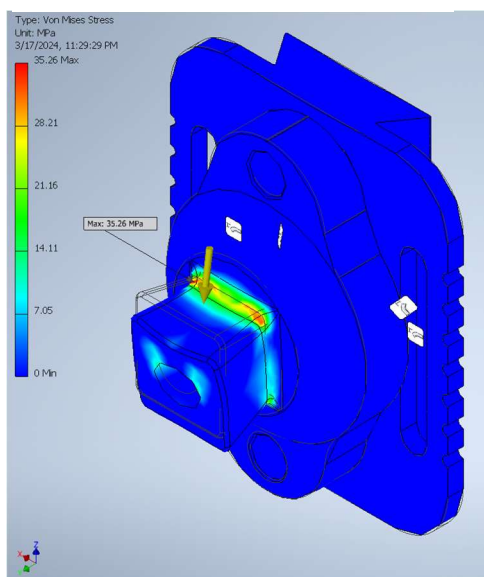


Figura 74 Esfuerzos en la pirámide

Como se puede ver en la simulación realizada, el esfuerzo al que llega el acople piramidal es aproximadamente 35 MPa en la unión de la geometría cuadrada con la geometría circular. Incluso en este caso de análisis conservativo, se observa que el esfuerzo en la pieza no es crítico, dando un factor de seguridad de 5.87 con estas fuerzas aplicadas. Al hacer este componente de acero, las indentaciones observadas en la pirámide de aluminio van a solventarse, con lo que la pierna tendrá más estabilidad ya que el material es más duro y los prisioneros que abrazan esta pieza no deforman la pieza, uniéndose con más fuerza los componentes y con menor tolerancia de juego.

## 5. EXPERIMENTACIÓN INGENIERIL Y VERIFICACIÓN

Para el diseño y verificación de los cálculos se propusieron tres experimentos que validan las suposiciones o permiten ajustar el diseño para que el prototipo cumpla con los criterios de diseño propuesto. Los tres experimentos son:

### 5.1 Ensayo de Tracción del Material

Para este ensayo se realizaron probetas del compuesto de CFRP según la norma ASTM D3039/D3039M. La velocidad de avance para el ensayo fue  $2 \frac{mm}{min}$   $\left(0.05 \frac{in.}{mm}\right)$ . El uso de agarres metálicos o tabs hechos de fibra de carbono son necesarios en el caso de que la probeta resbale. Las dimensiones de la probeta para el ensayo y las configuraciones específicas del material están detalladas a continuación.

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, °
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [ 7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

El realizar este ensayo de tracción permite conocer el esfuerzo último de falla del material compuesto y además encontrar un valor para el módulo de Young, lo que permite determinar un factor de seguridad para el sistema con un valor experimental y observar el comportamiento del material para evaluar si la suposición teórica para la rigidez es adecuada ya que se utiliza el módulo de Young para obtener la rigidez del sistema. Estos valores serán evaluados frente a la norma ISO 10328 para evaluar si la resistencia del material es suficiente para pasar los estándares de seguridad indicados, en donde se carga el prototipo incrementando la carga por 100N/s durante 30s, con lo que las simulaciones del prototipo deberían soportar los 3000N de fuerza aplicados.

### 5.2 Prueba Estática y Estabilidad

Con el prototipo construido se realizaron pruebas de caminata variando la presión del amortiguador desde 100psi con incrementos de 25psi. Con cada nivel de presión, se realizó una prueba de caminata durante 1 minuto, evaluando la calidad de la caminata con la aplicación OneStep. Esta mide varios parámetros de la caminata, y se evaluará el porcentaje de soporte doble y la asimetría de postura. Estos criterios evalúan si el usuario se siente cómodo apoyando su peso en la prótesis y si la caminata fue balanceada entre los dos pies.

### **5.3 Pruebas de Ciclo de Marcha y Platos de Fuerza**

Con el prototipo calibrado a una presión cómoda para el usuario, definida con la prueba anterior, se realiza una prueba de caminata usando el sistema de motion capture del laboratorio de ergonomía de la USFQ. Con esta prueba se utilizan marcadores para puntos de interés del modelo humano, y se realiza una caminata que observará y medirá la posición del pie a lo largo del ciclo de marcha. En específico se observarán los datos del pie, donde se captura la punta del pie, el talón y el tobillo. Además, el laboratorio cuenta con placas de presión que miden la fuerza ejercida al caminar encima, y estos datos también serán registrados.

La posición de las marcas a lo largo del ciclo de marcha determinará la deflexión que sufre el sistema dadas las fuerzas de reacción al asentar el pie. Con estas diferencias en posición y la fuerza ejercida durante el despegue del pie determinarán la rigidez del sistema.

Además, las gráficas de posición y fuerza obtenidas en la prueba se compararán con las curvas teóricas y con pruebas de caminata sin el prototipo para evaluar la similitud en el ciclo de marcha y verificar que las suposiciones teóricas de entrada para el sistema dinámico son adecuadas.

## 6. RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con el prototipo completo y las probetas de CFRP se realizaron experimentos para comprobar el desempeño real del modelo con el teórico. De esta manera, se presentan los resultados obtenidos a continuación y se discute su significancia. Se creó también un manual de uso para usuarios futuros, que se encuentra en el Anexo C: Manual de Usuario.

### 6.1 Resultados y Discusión

#### 6.1.1 Ensayo de Tracción

El ensayo de tracción produjo la siguiente gráfica de esfuerzo-deformación.

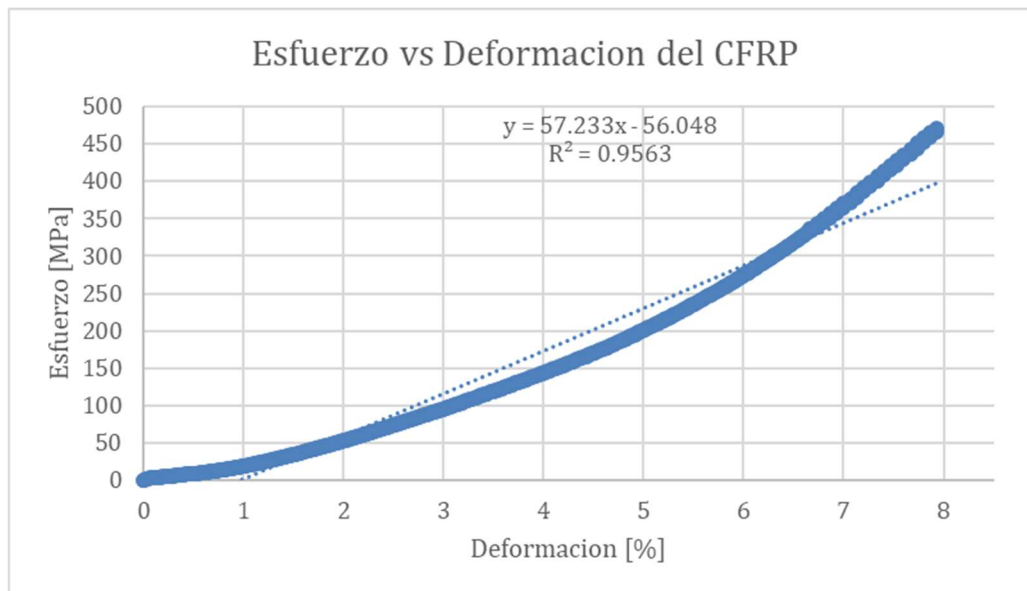


Figura 75 Diagrama Esfuerzo-Deformación del CFRP

Con estos resultados se observa que el esfuerzo último del CFRP es de  $S_{UT} = 470\text{MPa}$ , y el módulo de elasticidad es de  $E = 57.2\text{ GPa}$ . Las suposiciones teóricas de  $S_{UT} = 470\text{MPa}$  y  $E_1 = 70\text{ GPa}$  no tienen una discrepancia significativa para considerar algún rediseño.

La falla fue en la dirección principal de las fibras, con lo que no se observan agrietamientos ni falla en cortante que afecten la integridad de la probeta. A continuación, se observa la probeta en falla.



*Figura 76 Probeta de CFRP en falla de tracción*

Se observa que las fibras verticales fallan y la pieza se agarra solamente de las fibras horizontales, por lo que se desalinea. La falla es externa y notable por lo que se descarta la presencia de cavidades internas considerables en el material. Se puede concluir que el método de manufactura de los moldes con sujeción a presión generó muestras con propiedades mecánicas aceptables, siendo hechas con un método más accesible con la impresión 3D.

Con el valor de módulo de elasticidad encontrado se puede recalcular la rigidez de los tendones y se obtiene que

$$k = \frac{Ebh^3}{4L^3} = \frac{57.2GPa(25mm)(5mm)^3}{4(107.7mm)^3} = 35.77 \text{ kN/m}$$

Esta es una aproximación cercana a los calculados en el análisis ingenieril y corrobora que el diseño es aceptable para continuar con pruebas de uso. Además, con el esfuerzo último del material y las simulaciones estructurales realizadas se puede concluir que el factor de seguridad del sistema es de 3.88, lo que considerando la prueba de resistencia estática de la norma ISO 10328 para prótesis de pies, y la carga diseñada de 800N, se puede concluir que el sistema

puede soportar hasta 3100N sin entrar en falla estática, por lo que el prototipo está en conformidad con los parámetros de seguridad establecidos de la norma.

### 6.1.2 Estática y Estabilidad

Se realizaron pruebas de caminata con las diferentes presiones del amortiguador y se obtuvieron los siguientes datos.

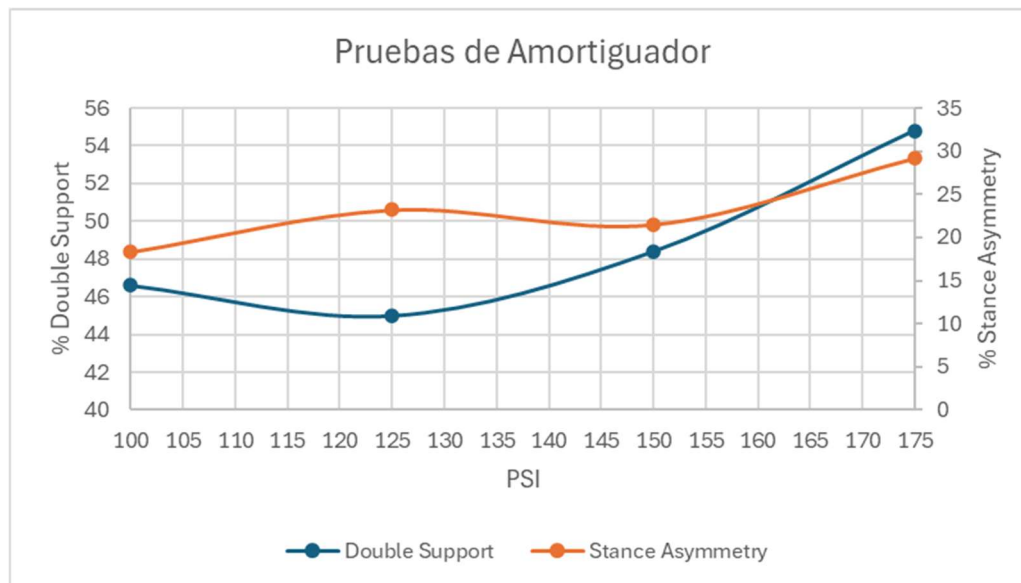


Figura 77 Datos obtenidos de OneStep

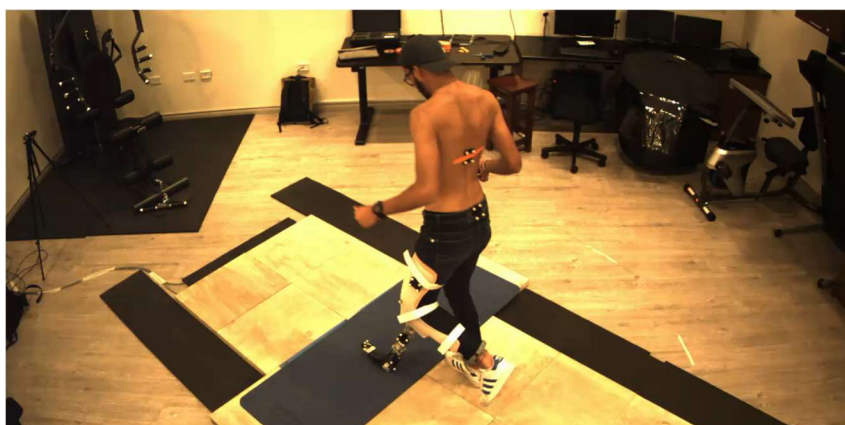
Con estas pruebas se evidencia que la mejor estabilidad se logra en 125psi al ver el menor soporte doble al caminar, y la asimetría de la caminata mejora con valores menores de presión. Esto es una combinación de aprendizaje con cada caminata, sin embargo, el sujeto de prueba reportó un incremento de inseguridad al bajar de los 100 psi, y por el otro lado, pasado los 180 psi se reporta demasiada rigidez al punto que no siente la deflexión del pie como un paso natural. El usuario puede trabajar en este rango ajustando a su comodidad percibida, así que la recomendación es ajustar la presión entre 100 y 180 psi.

### 6.1.3 Prueba de Ciclo de Marcha y Platos de Fuerza

El sujeto de prueba se colocó los marcadores en el cuerpo y en los pies y las caminatas fueron registradas con y sin la prótesis, y una de las pisadas por cada prueba fue en el plato de fuerza

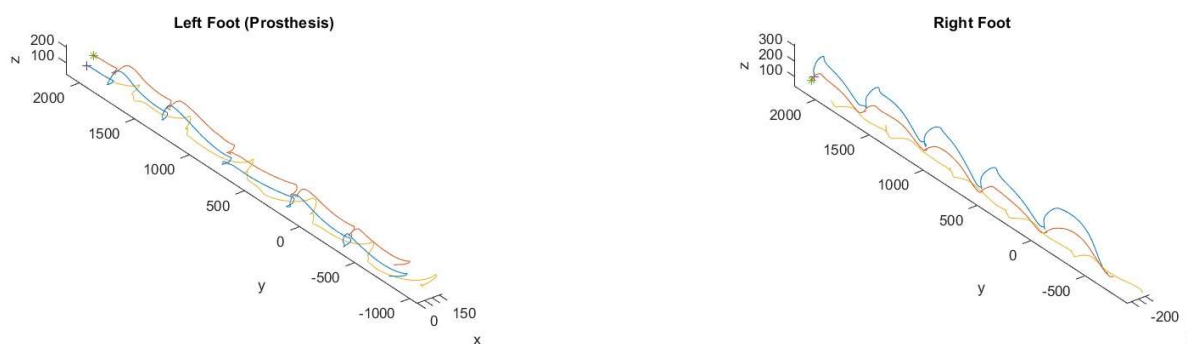


para medir la fuerza de reacción generada. Estos marcadores trazan la posición de ambos pies en la punta del pie, el talón y el tobillo como se muestra en la siguiente imagen.



*Figura 78 Posicionamiento de marcadores y pruebas de caminata*

A continuación, se muestran los trazos de los marcadores de estas pruebas.



*Figura 79 Motion Capture de caminatas con prótesis en la pierna izquierda*

Haciendo una ampliación de estos marcadores en los momentos donde el pie está en la fase de apoyo, se puede observar la respuesta del sistema dinámico y la posición vertical del tobillo es relevante para observar la deflexión que está experimentando el prototipo.

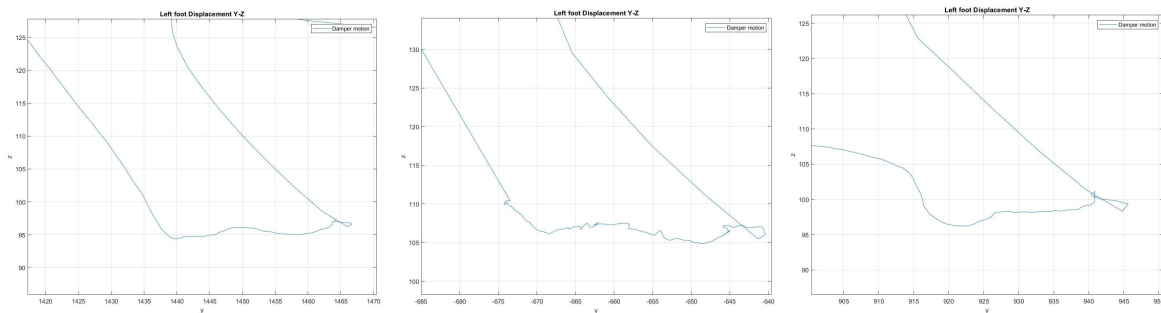


Figura 80 Desplazamiento Z-Y del tobillo en de prótesis durante la fase de apoyo

Se tomaron las posiciones de todos los pasos registrados para sacar un promedio de las diferencias entre los dos picos del sistema al momento del *heel strike* y el *Terminal stance* comparados con el punto medio donde el peso se distribuye equitativamente en la planta del pie. Se puede observar en la Figura 81 y la Figura 82 que las respuestas experimentales forman una curva similar a la simulación propuesta, y las deflexiones entre los tres puntos de interés de la fase de apoyo son similares como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14 deflexión del tobillo durante la fase de apoyo

	delta_HS[mm]	delta_TS[mm]
Teórico	1.51	2.15
Experimental	1.708	2.393
Error	13.13%	22.11%

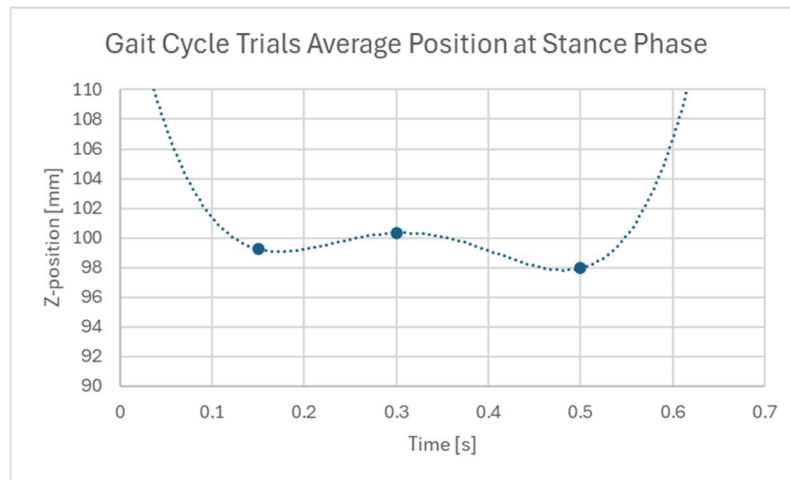


Figura 81 Promedio de posiciones del tobillo en la fase de apoyo

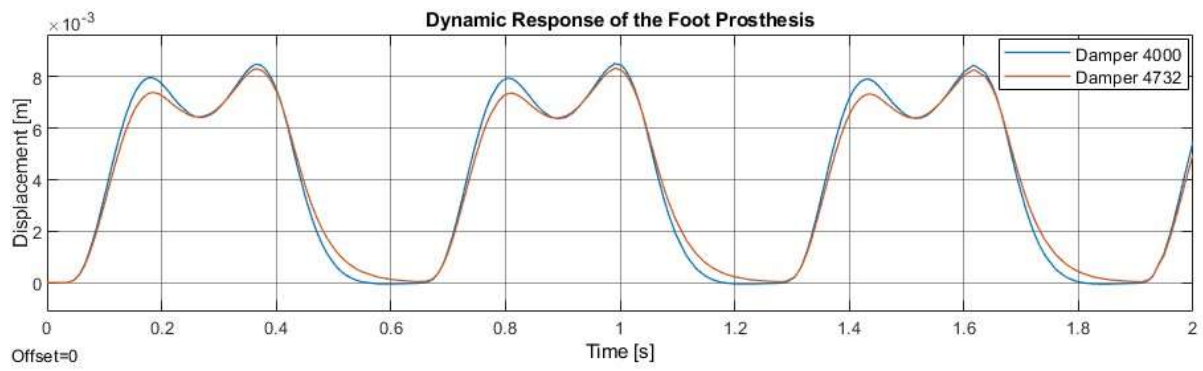


Figura 82 Respuesta dinámica del sistema en Simulink

Es interesante notar que, con la variación teórica del amortiguamiento del sistema, el primer pico en el *heel strike* experimenta una variación más considerable que el *terminal stance*, que es cuando el talón ya está despegado del cuerpo. Se puede ver que la sobreposición del amortiguamiento en esta segunda fase no afecta de manera significativa y su tendencia se asemejará más a la realidad en donde el amortiguador ya no tiene efecto físico.

También, con cada caminata se muestra la fuerza de reacción del pie izquierdo al dar un paso.

En la siguiente figura se observan las pruebas realizadas, con los pasos con prótesis

concentrados en la parte derecha del gráfico (entre 5 y 9 segundos) y los pasos sin prótesis entre 3.5 y 5.5 segundos, con la función teórica del modelo siendo la primera curva.

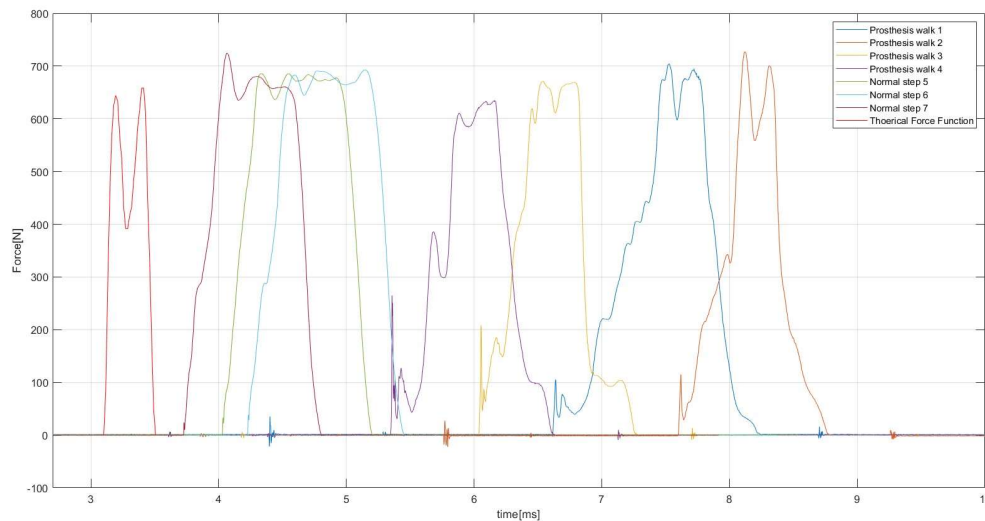


Figura 83 Mediciones de fuerza de reacción en caminata

En estas curvas se observa que los pasos de prótesis muestran tres claros momentos en la fase de apoyo, lo cual indica que el pie está siendo usado de la manera correcta. Además, la fuerza de apoyo en las prótesis es de similar magnitud a las naturales, indicando que se está apoyando de manera plena en el prototipo, indicando confianza en el paso. Es de interés la variación de la fuerza entre la fase de apoyo medio y el apoyo terminal para observar la deflexión que sufren los tendones. Los resultados se observan en la siguiente Tabla.

Tabla 15 Fuerzas medidas en Middle Stance y Terminal Stance

Fuerza [N]		
MS	TS	delta
585	634	49
610	666	56
597	691	94
558	697	139
AVG		84.5

Con esta desviación en el punto terminal que es de 2.15mm, se calculó la rigidez de los tendones usando esta deflexión y la fuerza que sienten estas piezas. Con la relación de Hooke

se tiene que  $F = kx \Leftrightarrow k = F/x$ . Dado el cambio de fuerza promedio de 84.5N, y considerando la distribución de peso sobre los componentes, se tiene que la rigidez de los tendones es de:

$$k = \frac{F}{x} = \frac{84.5 \text{ N}}{2.393 \text{ mm}} = 35.3 \text{ kN/m}$$

Este valor es aceptable ya que supera la rigidez mínima de diseño para que el sistema retorne la energía suficiente para impulsar a la persona al caminar.

## 6.2 Conclusiones

Para este proyecto se plantearon algunos criterios de éxito, y la construcción del prototipo y los experimentos realizados ayudaron a determinar el logro satisfactorio de los objetivos planteados.

Primero, se propuso diseñar y construir un prototipo funcional de prótesis de pie que proporcione estabilidad y seguridad al usuario. Luego de todo el proceso de manufactura tanto de piezas metálicas como del compuesto de CFRP, se obtuvo un prototipo ensamblado que está en concordancia con las normas ISO 10328 e ISO 24562, lo que asegura que este es seguro para el uso y se adapta a cualquier otra prótesis comercial de tibia o rodilla.

- Las pruebas realizadas muestran que el sistema es estable con una presión de amortiguador de entre 100 a 180 psi para un usuario de alrededor de 80kg. Se evidencia con las pruebas de caminata que el usar una prótesis no es una traducción uno a uno de un pie real, y es de suma importancia el entrenamiento en el uso del dispositivo y la supervisión de este mientras esté en uso para resguardar la salud y seguridad del usuario.
- Debido a los implementos de resorte en las fibras y el amortiguador, se puede considerar este prototipo de denominación de movilidad K2, ideal para una caminata

moderada en terreno no necesariamente recto, y se limita a no correr al doble de la velocidad de caminata.

El segundo objetivo fue realizar un sistema integral junto con la rodilla y el socket con el fin de tener un prototipo completo listo para el uso de la universidad. Junto a la Fundación Hermano Miguel y los aportes de proyectos anteriores se tiene un prototipo completo de prótesis transfemoral, que cuenta con un socket para uso de personas no amputadas, una rodilla policéntrica, y un pie de fibra de carbono con amortiguador.

- Este sistema cuenta con varios acoples de tibia y extensiones modulares que permiten que el prototipo se adapte a diferentes alturas de usuarios. Es importante notar que si fuese el caso que esta se use con una persona con una amputación transfemoral, las extensiones de tibia serán necesarias, aunque con pruebas de sujetos no amputados los acoples más cortos bastan.
- El tener este prototipo completo permite que se comience la investigación de la biomecánica con mayor profundidad en futuros proyectos y abre las puertas para un área de la mecánica en la universidad que es de interés actual y relacionable con otras disciplinas como la medicina y la robótica.

El último objetivo fue crear un prototipo económicamente accesible para el mercado ecuatoriano. El prototipo final tiene un costo de materiales relativamente bajo, siendo el costo más significativo el tiempo de maquinaria para todas las piezas mecánicas.

- La prótesis de pie tiene un costo final de menos de \$800 USD, lo que le convierte en un modelo competitivo para modelos que se encuentran actualmente en el mercado, donde un sistema básico sin suspensión puede costar entre \$800 a \$1000 USD, y un sistema de mayor grado de movilidad puede fácilmente duplicarse en precio.

- El producto en conjunto con los acoples, la rodilla, y el socket tuvieron un costo total de \$1964 USD. Hay que considerar que estos precios siguen siendo elevados para el ecuatoriano promedio, por lo que una reducción en costos de manufactura, donde está el principal rubro, podría reducir significativamente el costo para el usuario y dar una solución más económica en el mercado. Esto se podría lograr reduciendo el tiempo de mecanizado al automatizar y refinar procesos de manufactura, que es a donde los esfuerzos se dirigieron principalmente y con la iteración es que se logra mejorar.

### 6.3 Trabajo Futuro

Una vez concluido el proyecto, se realizó una retroalimentación de consideraciones importantes para cualquier trabajo futuro de la prótesis como conjunto. Hay algunos puntos que considerar para futuras iteraciones del proyecto.

- Crear un ajuste en la base deslizante de la pirámide para poder ajustar la alineación del tobillo de acuerdo con la necesidad del usuario. Este ajuste está diseñado, pero se determinó que necesitaba un maquinado más complejo que no justificaba para el uso actual de prototipo, ya que la alineación depende del usuario y tener una pieza móvil complica el funcionamiento al tener múltiples usuarios. La funcionalidad dual de empernado actual o alineación específica permite un uso más preciso del prototipo.
- Mejorar el roscado de pernos utilizando Loctite. Esto no se implementó ya que cualquier decisión de uso fuera final y no hay espacio a pequeños ajustes e inspección de piezas sin dañar el prototipo. Sin embargo, se observó que la caminata puede aflojar algunos pernos, por lo que un modelo final debe contar con Loctite en las juntas empernadas para fijar las juntas.
- Caracterizar el material compuesto CFRP midiendo el porcentaje de epoxi, de fibra de carbono y de vacío. Este trabajo puede revelar en más detalle el comportamiento del

material compuesto que fue estudiado, ya que la ortotropía de este compuesto presenta retos interesantes en el área de investigación de materiales.

- Mejorar los acoples de la rodilla, y hacerlos empernables, y ajustar las tolerancias de la rodilla ya que se siente inseguridad por falta de rigidez y ajuste del prototipo. Por tiempo y consideraciones de presupuesto y maquinado no se rediseñaron los acoples de la rodilla, aunque es una consideración importante hacerlos de un material más duro ya que son los puntos críticos de transmisión de carga. Al hacer esto es importante guiarse de la norma ISO 24562 para asegurar su universalidad, y fuera interesante hacer los acoples empernables para acceder de manera más sencilla a las piezas internas del mecanismo y simplificar el diseño.
- Buscar un mejor resorte para la rodilla teniendo en cuenta las especificaciones del pie manufacturado en este proyecto de tesis. La rodilla tuvo una suposición de carga de solo 600g para el peso de la pierna acoplada, sin embargo, el prototipo rodea los 950g, con lo que se podría reforzar el sistema de la rodilla para ajustarse a este cambio.
- Relacionar el coeficiente de amortiguamiento con la presión que debe tener el amortiguador, para verificar la veracidad de los cálculos realizados previamente. El estudio dinámico del efecto del amortiguador es una métrica complicada de cuantificar ya que depende de la velocidad en la que el sistema se mueve. Esto se podría estudiar a más profundidad haciendo más ensayos con la variable del amortiguador para cuantificar el coeficiente de amortiguamiento con una presión de aire que es la entrada del sistema.



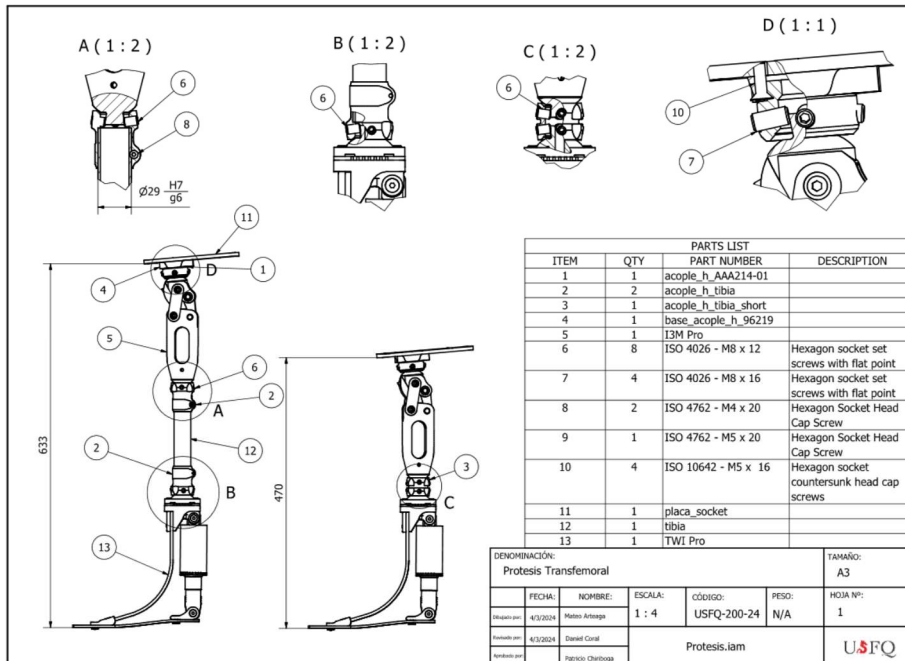
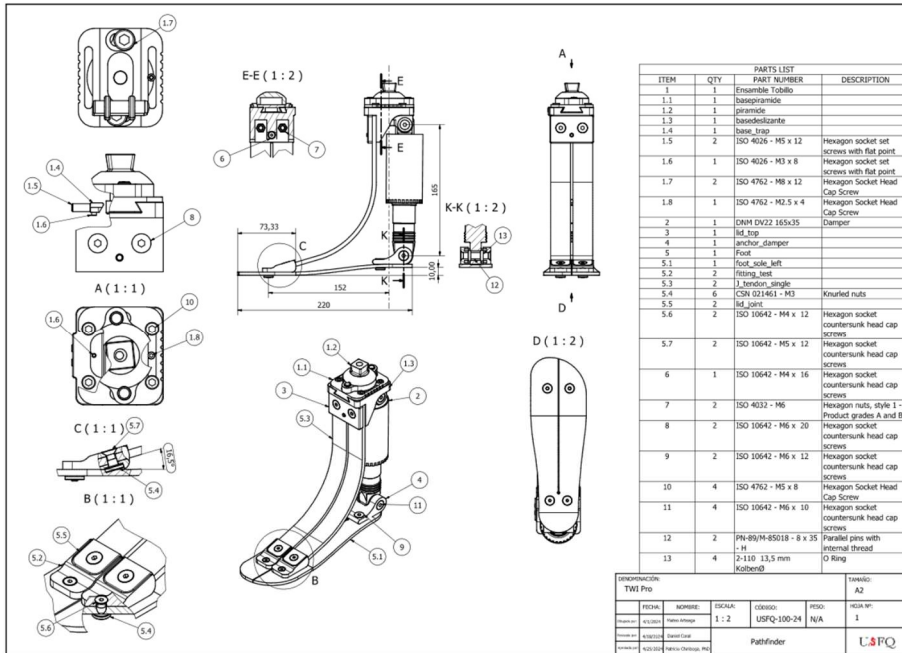
## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alava, B. (2020). *Diseño de un modelo de prótesis de pie*. Obtenido de <https://autofabricantes.org/wp-content/uploads/2020/05/TFM-Bryan-%C3%81lava-Zabala.pdf>
- Brockett, C. (2016). *Biomechanics of the ankle*. doi:10.1016/j.mporth.2016.04.015
- Casias, I., Molina, M., Ordoñez, M. E., & Peralta, M. (2023). *Diseño y Construcción de una Prótesis de Rodilla Policéntrica para Amputación Transfemoral*. Repositorio USFQ.
- College Park. (2023). *Odessey K3 Technical Instructions*. Obtenido de <https://www.college-park.com>
- CPO. (2021). *HOW DOES THE WEIGHT OF AN ARTIFICIAL LEG COMPARE TO a NATURAL LEG?* Obtenido de [https://cposeswatini.com/hrf\\_faq/how-does-the-weight-of-an-artificial-leg-compare-to-a-natural-leg/](https://cposeswatini.com/hrf_faq/how-does-the-weight-of-an-artificial-leg-compare-to-a-natural-leg/)
- Geng, Y., Xu, X., Chen, L., & Yang, P. (2010). Design and analysis of active transfemoral prosthesis. *IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 1495-1499. doi:10.1109/IECON.2010.5675461
- Geng, Y., Xu, X., Chen, L., & Yang, P. (2012). Design and simulation of Active Transfemoral Prosthesis. *2012 24th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, 3724-3728. doi:10.1109/CCDC.2012.6243095
- Godfrey, A., Barry, G., Del Lin, S., & Mathers, J. (2015). Instrumenting gait with an accelerometer: A system and algorithm examination. *Medical Engineering & Physics*, 20.
- Hajaghazadeh, M., Allahyari, T., Minaei, R., & Khalkhali, H. (2017). *Anthropometric Dimensions of Foot in Northwestern Iran and Comparison with Other Populations*. doi:10.5812/jhealthscope.14063
- Imran, A. B. (2023). A New Passive Transfemoral Prosthesis Mechanism Based on 3R36 Knee and ESAR Foot providing Walking and Squatting. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, 13(5), 100476. doi:<https://doi.org/10.1016/j.taml.2023.100476>
- Kaur, A., & Sethi, D. (2021). *A Review on Clinical Gait Analysis*. doi:<https://doi.org/10.1109/ICOEI51242.2021.9452951>
- Lee, T., Kim, I., & Baek, Y. (2021). *Design of aa 2DoF Ankle Exoskeleton with a Polycentric Structure and a Bi-Directional Tendon Driven Actuator Using a PID Neural Network*. doi:<https://doi.org/10.3390/act10010009>
- Morales, S., Garrido, J. F., & Vallejo, A. (2023). *Diseño y construcción de un sistema de termoformado para la fabricación de sockets prostéticos*. Repositorio USFQ.
- Naseri, A., Moghaddam, M., Grimmer, M., & Sharbafi, M. (2022). Passive hydraulic prosthetic foot to improve the push-off during walking. *ELSEVIER*, 7.
- Ohio WillowWood. (2013). *Pathfinder II*. Obtenido de <https://willowwood.com/>

- Performance Composites. (2009). *Mechanical Properties of Carbon Fibre Composite Materials, Fibre/Epoxy Resin*. Obtenido de [https://www.performance-composites.com/carbonfibre/mechanicalproperties\\_2.asp](https://www.performance-composites.com/carbonfibre/mechanicalproperties_2.asp)
- Rochlitz, B., & Pammer, D. (2017). *Design and Analysis of 3D Printable Foot Prosthesis*. doi:<https://doi.org/10.3311/PPme.11085>
- Singleton, S., Keating, S., McDowell, S., Coolen, B., & Wall, J. (1992). Predicting step time from step length and velocity. *Australian Physiotherapy, 2*.
- Song, S., Zang, H., Duan, N., & Jiang, J. (2019). Experimental Research and Analysis on Fatigue Life of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Tendons. *Materials (Basel)*, 12(20):3383. doi:10.3390/ma12203383
- Sup, F., Bohara, A., & Goldfarb, M. (2017). Design and Control of a Powered Knee and Ankle Prosthesis. *Proceedings 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 4134-4139. doi:10.1109/ROBOT.2007.364114.
- Thiele, J., Westebbe, B., Bellmann, M., & Kraft, M. (204). Designs and performance of microprocessor-controlled knee joints. *Biomedizinische Technik/Biomedical Engineering*, 59(1), 65-77. doi:<https://doi.org/10.1515/bmt-2013-0069>
- .

8. ANEXO A: PLANOS INGENIERILES Y HOJAS DE PROCESOS

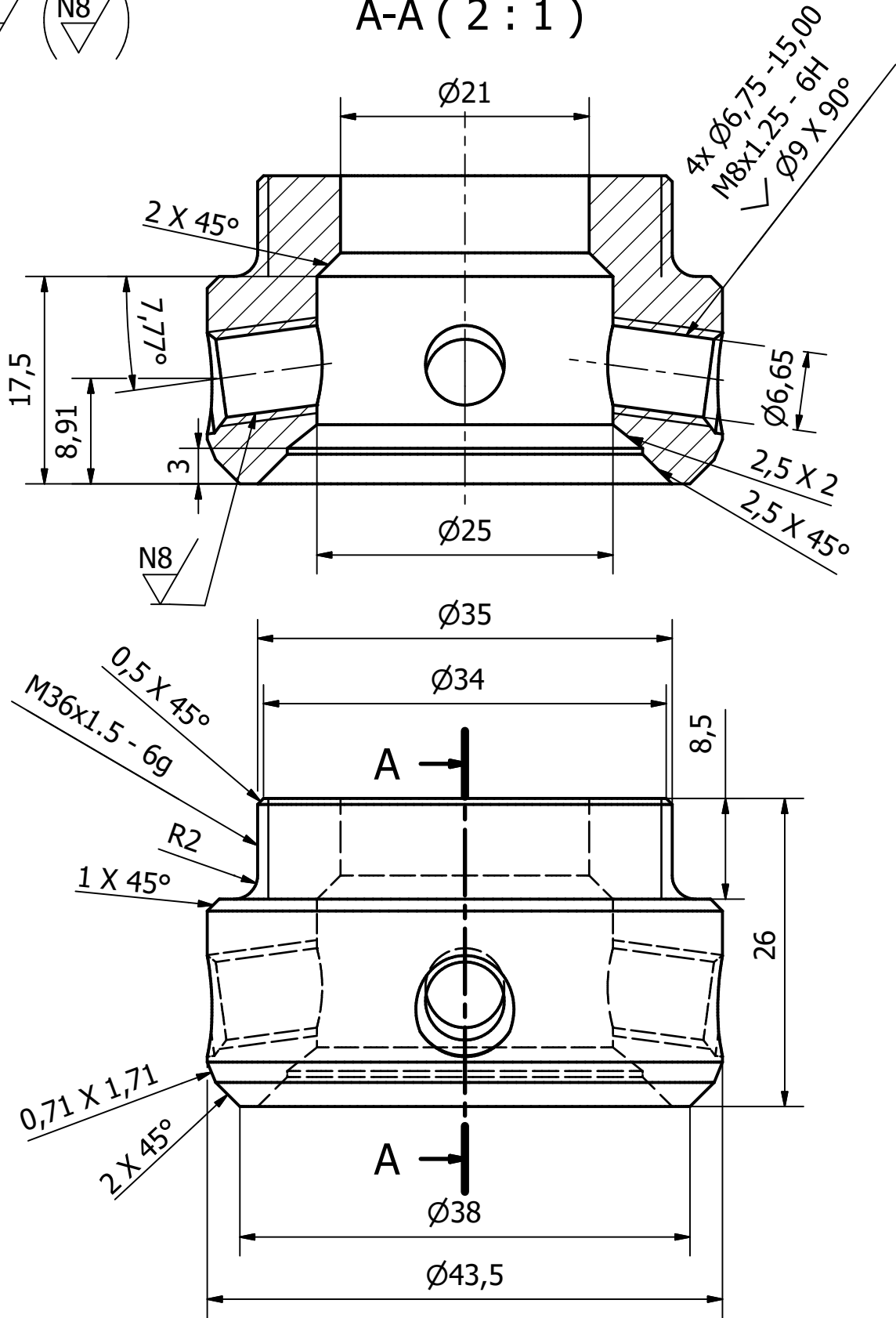
Planos Ingenieriles




DENOMINACIÓN: Protesis Transfemorales				TAMAÑO: A3	
FECHA:	NOMBRE:	ESCALA:	CÓDIGO:	PESO:	HOJA Nº:
4/3/2024	Mateo Arzaga	1 : 4	USFQ-200-24	N/A	1
Elaboró por:	Diseñó por:	Protesis.iam			USFQ
4/3/2024	Daniel Casal				
Revisó por:	Patricio Charloaga				

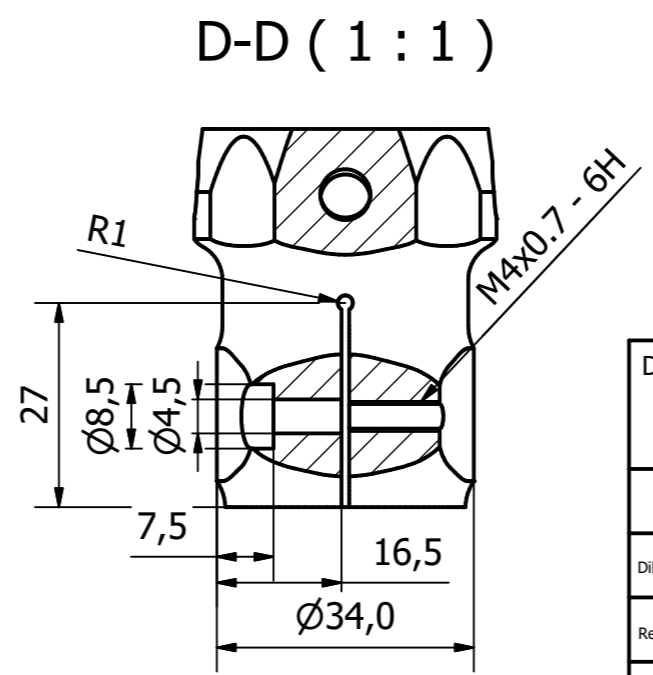
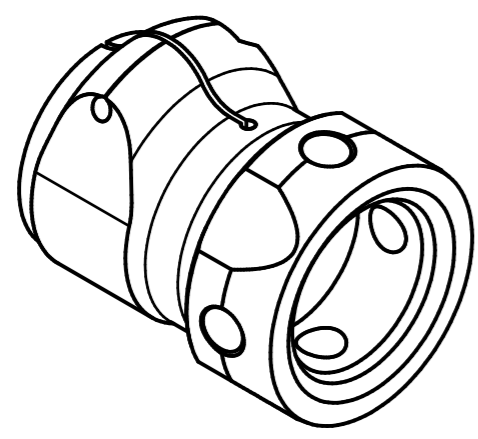
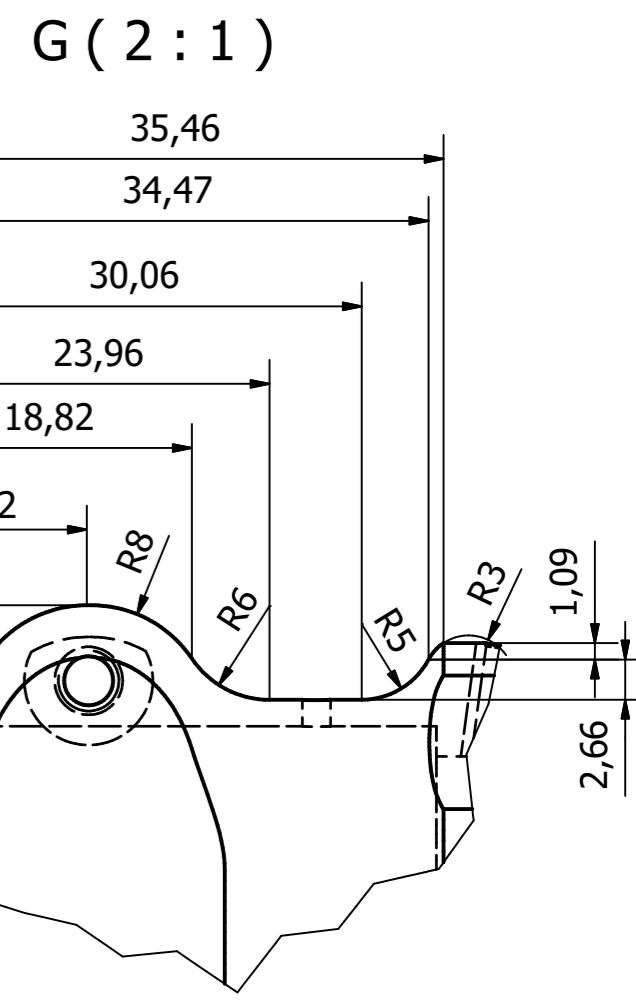
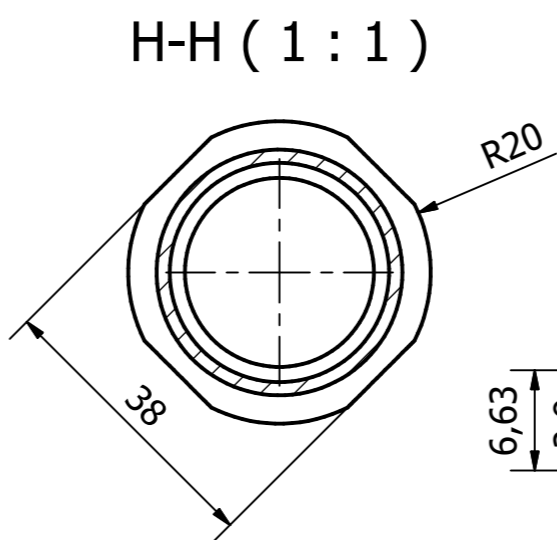
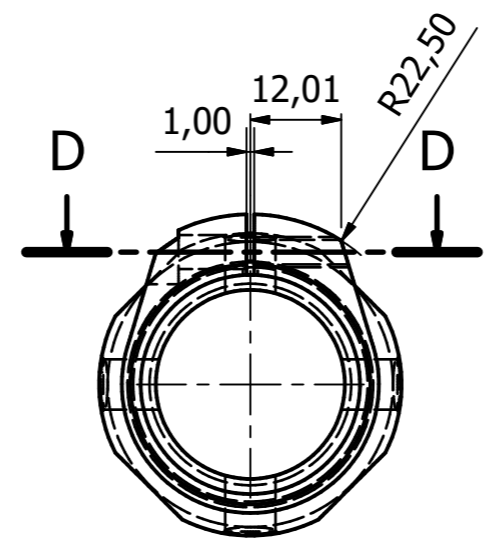
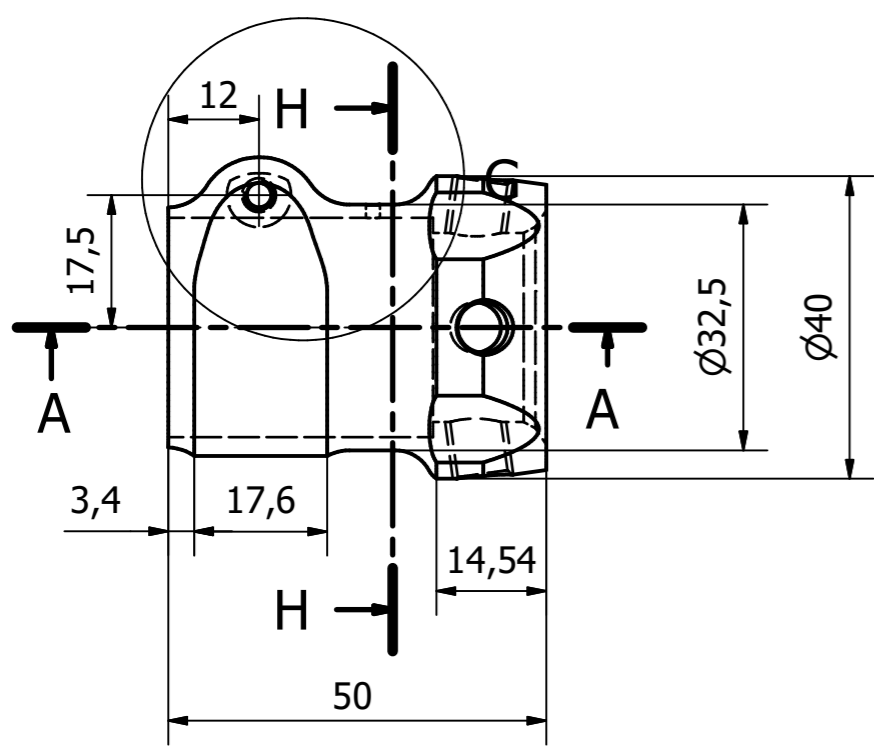
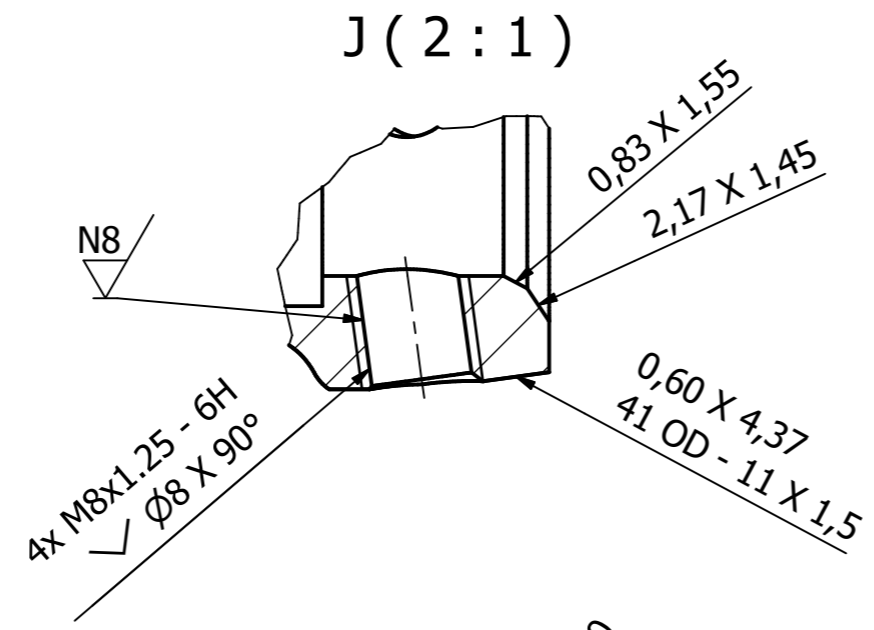
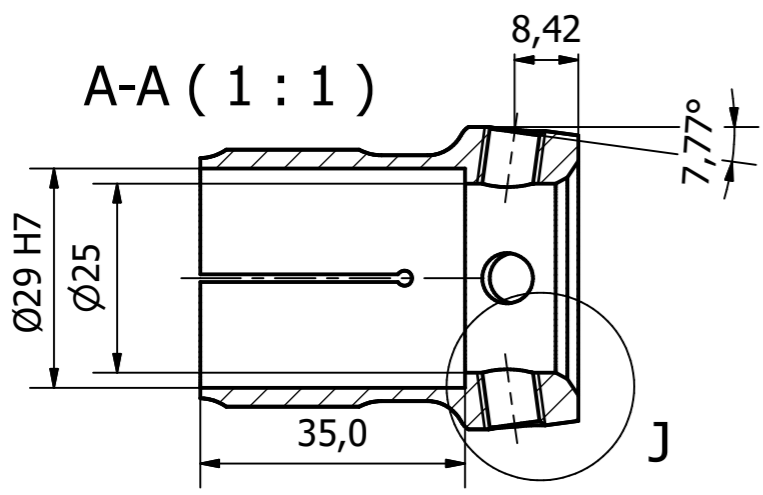
N6 / (N8)

A-A ( 2 : 1 )



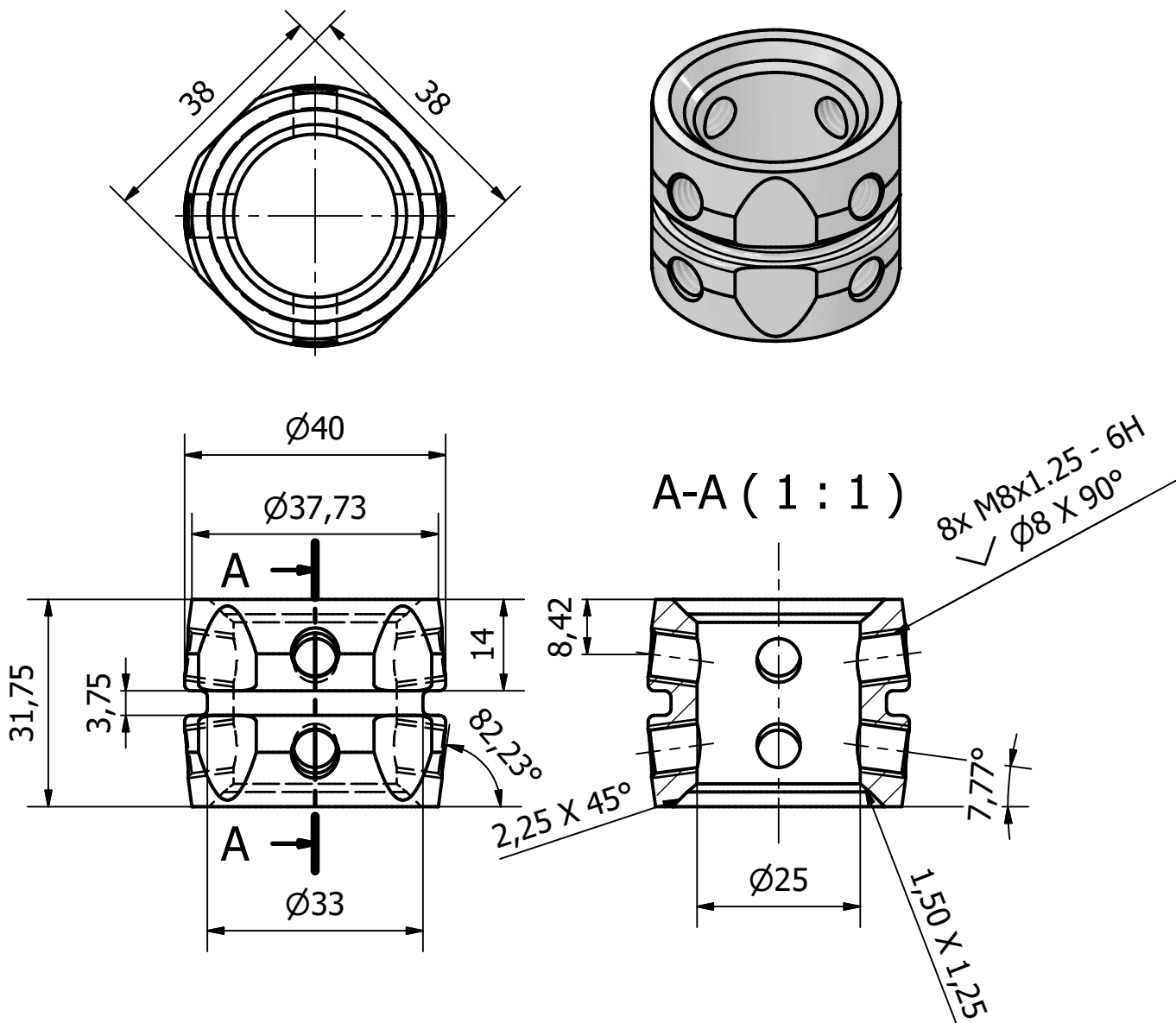
DENOMINACIÓN: Acople Hembra Femur		ESCALA: 2 : 1	CÓDIGO: USFQ-001-24
FECHA: 3/21/2024	NOMBRE: Mateo Arteaga	MATERIAL: Aluminum 6061	TOLERANCIA: 0.01
Revisado por: 4/3/2024	Gabriel Garcia	TRATAMIENTO:	
Aprobado por: 5/16/2024	Patricio Chiriboga	acople_h_AAA214-01	

N6 / (N8)



DENOMINACIÓN:		ESCALA:	CÓDIGO:
Acople Hembra Tibia		1 : 1	USFQ-002-24
FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por: 4/3/2024	Mateo Arteaga	Aluminum 6061	0.01
Revisado por: 4/3/2024	Natanael Calle	TRATAMIENTO:	USFQ
Aprobado por: 5/16/2024	Patricio Chiriboga	acople_h_tibia	

N6



DENOMINACIÓN:

Acople Hembra Tibia

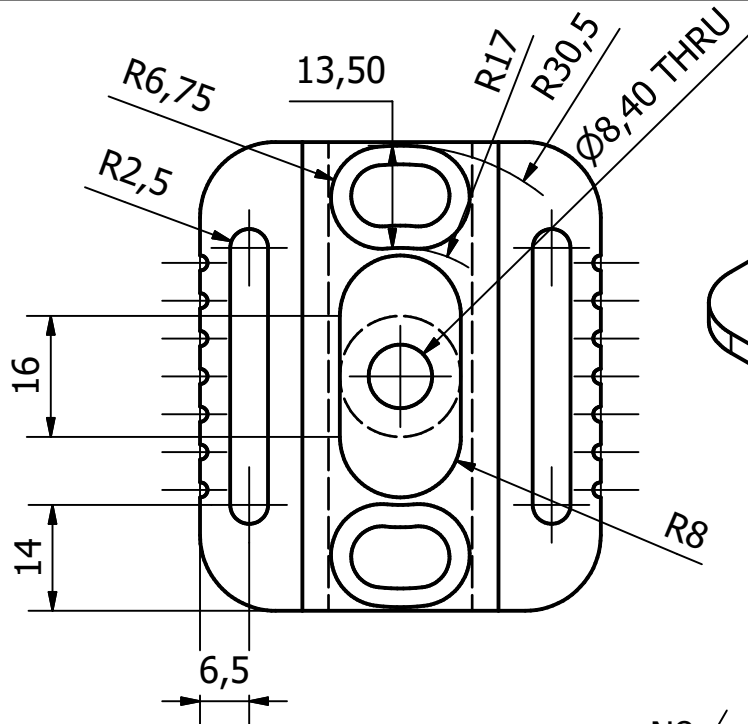
ESCALA:

1 : 1

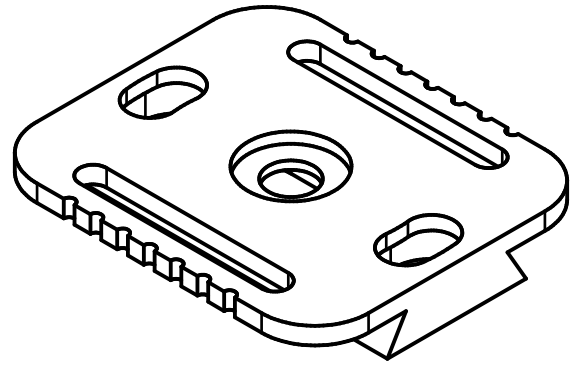
CÓDIGO:

USFQ-002-24B

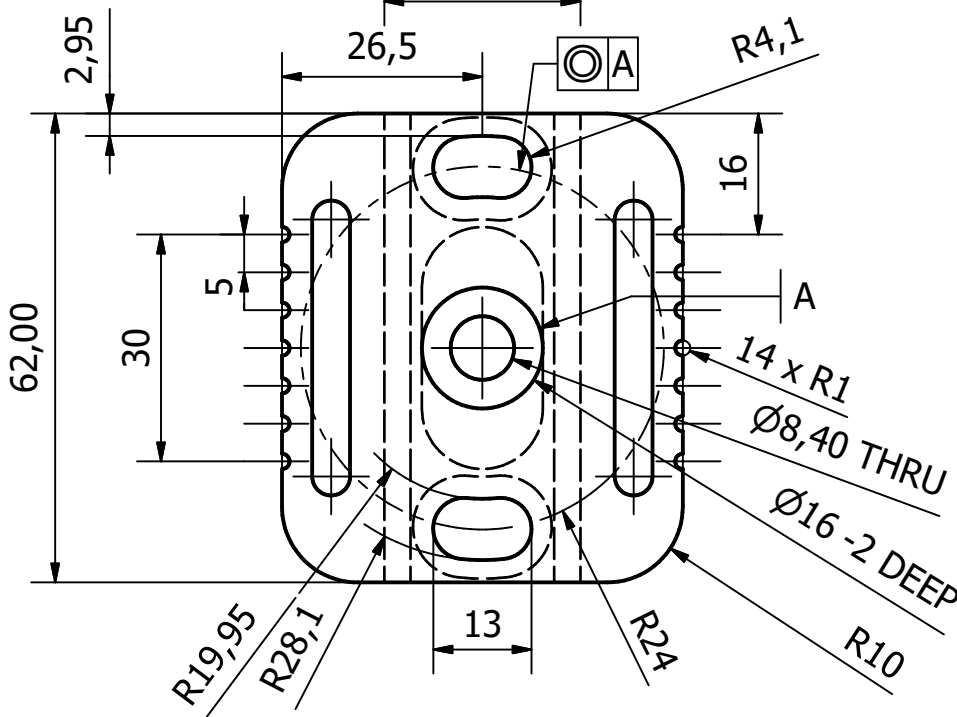
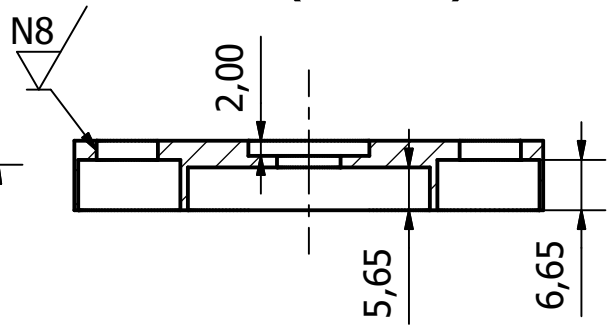
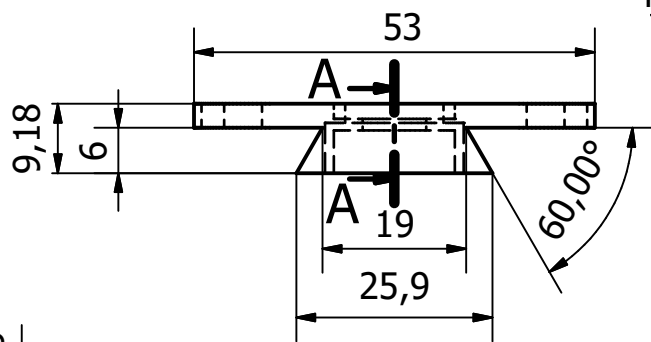
	FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por:	5/6/2024	Mateo Arteaga	Aluminum 6061	0.1
Revisado por:	4/3/2024	Gabriel Garcia	TRATAMIENTO:	
Aprobado por:	5/16/2024	Patricio Chiriboga	acople_h_tibia_short	



N6 (N8)



A-A (1:1)



DENOMINACIÓN:

Base Piramide

ESCALA:

1 : 1

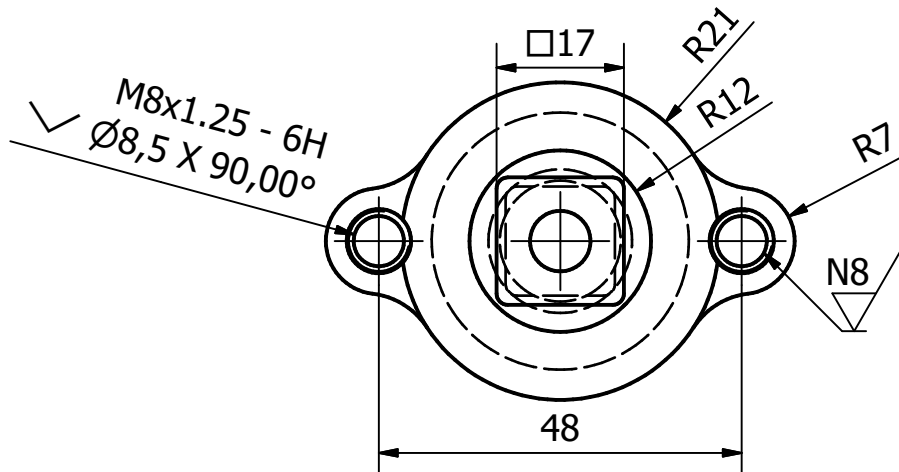
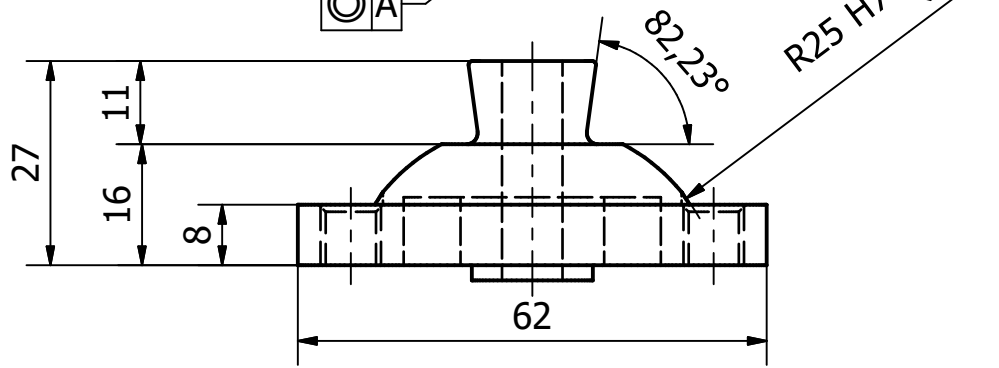
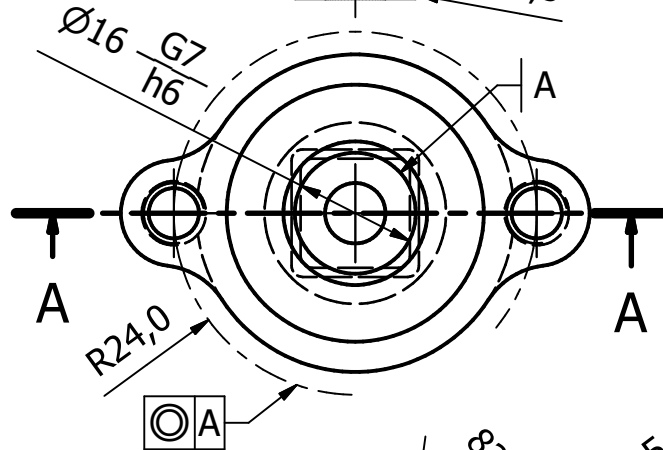
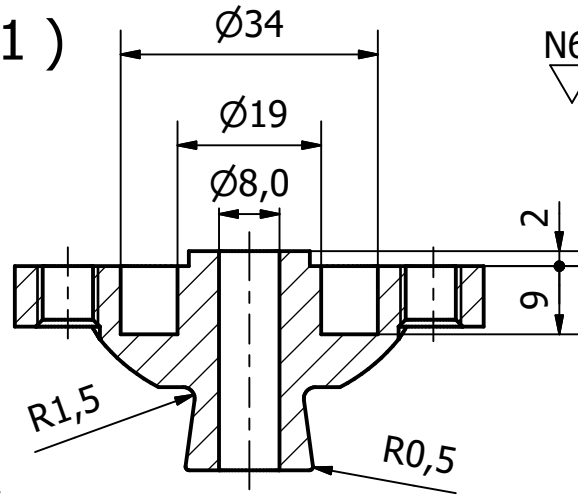
CÓDIGO:

USFQ-003-24

	FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por:	1/31/2024	Daniel Coral	Steel ASTM A36	0.1
Revisado por:	4/2/2024	Mateo Arteaga	TRATAMIENTO:	
Aprobado por:	5/16/2024	Patricio Chiriboga	basepiramide	

A-A ( 1 : 1 )

N6 (N8)



DENOMINACIÓN:  
Piramide

ESCALA:  
1 : 1

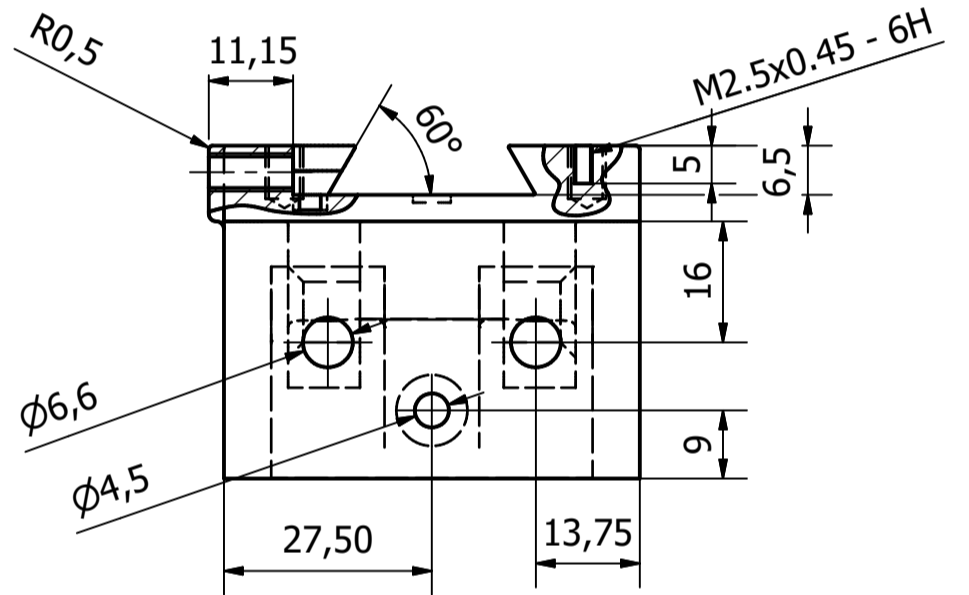
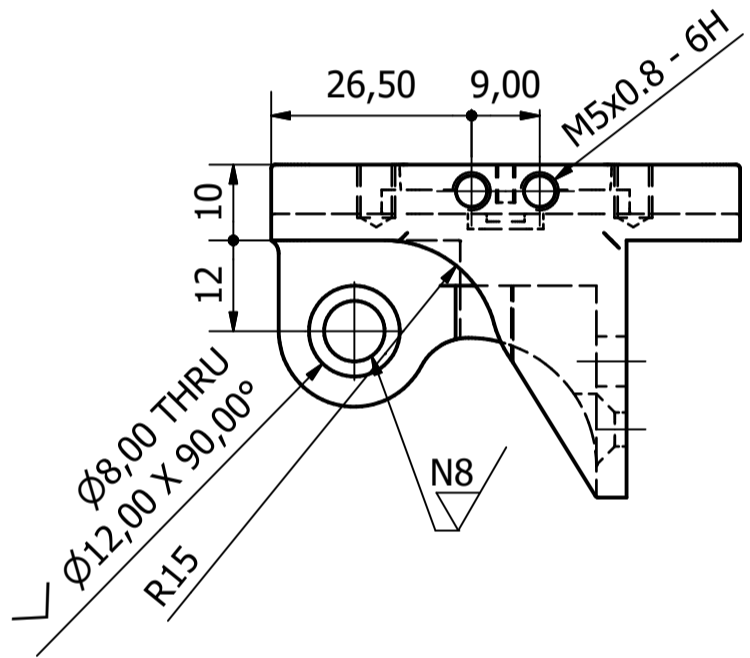
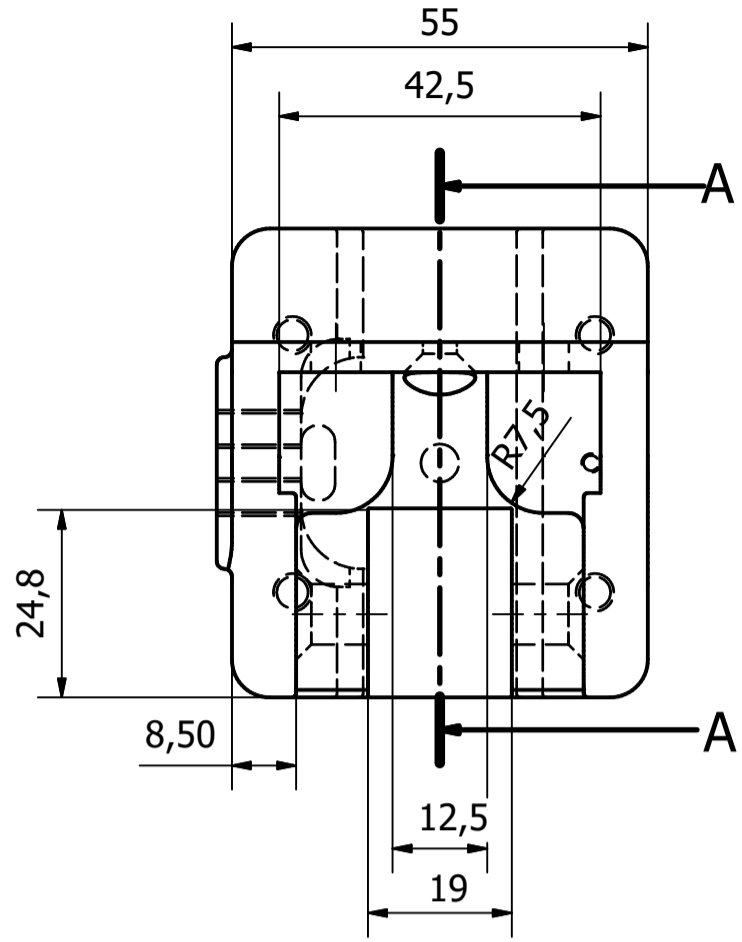
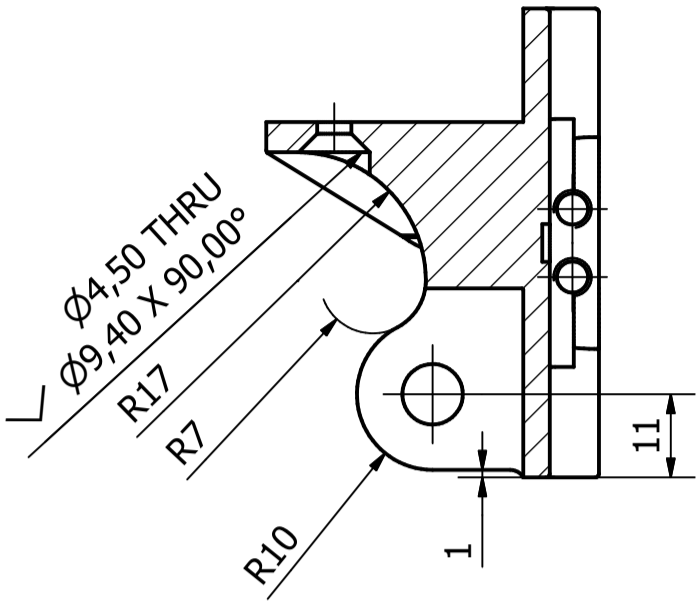
CÓDIGO:  
USFQ-004-24

	FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por:	3/25/2024	Mateo Arteaga	Steel AISI 1018 106 HR	0.01
Revisado por:	4/4/2024	Daniel Coral	TRATAMIENTO:	USFQ
Aprobado por:	5/16/2024	Patricio Chiriboga	piramide	

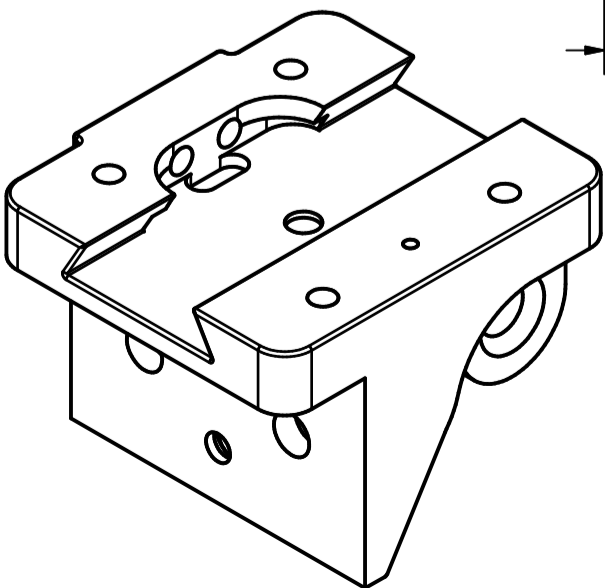
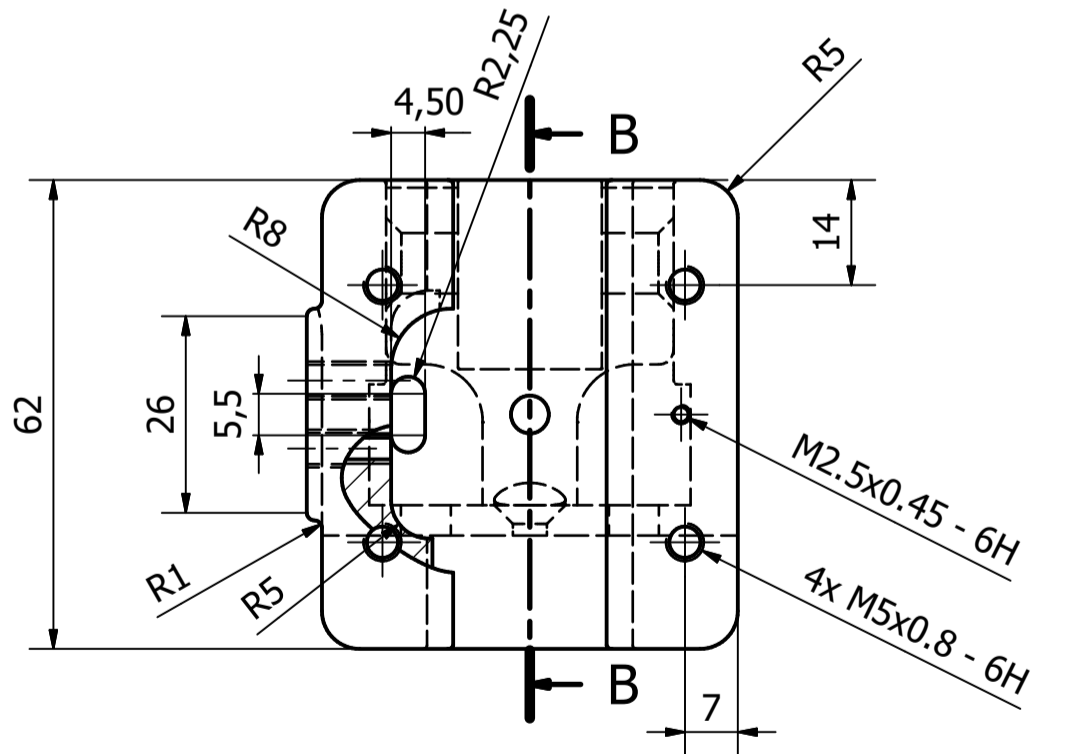
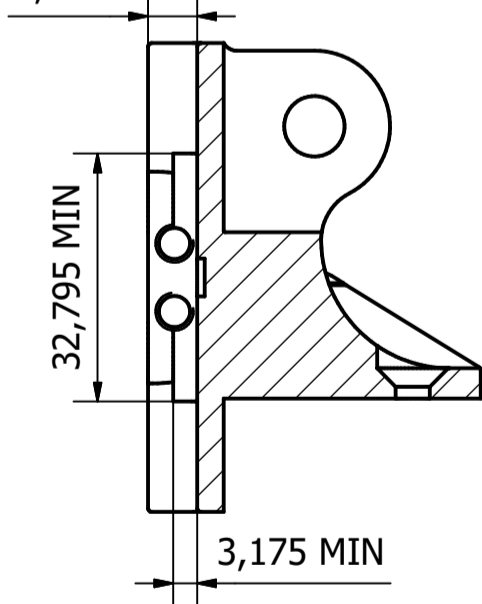


N5  
(N8)

A-A (1:1)

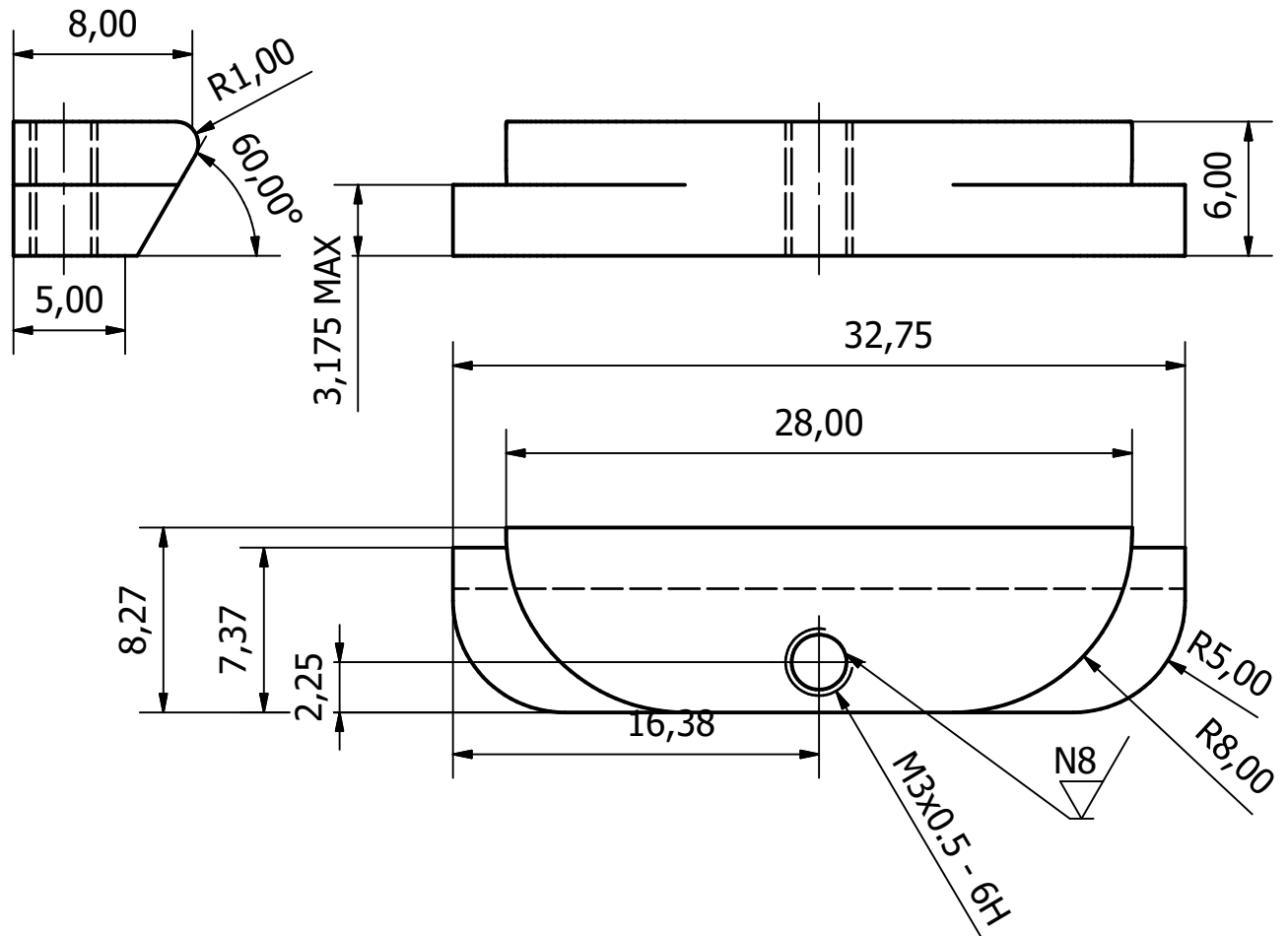


B-B (1:1)



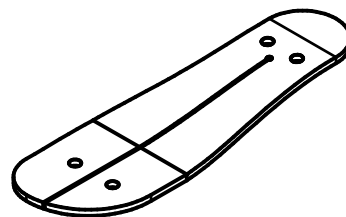
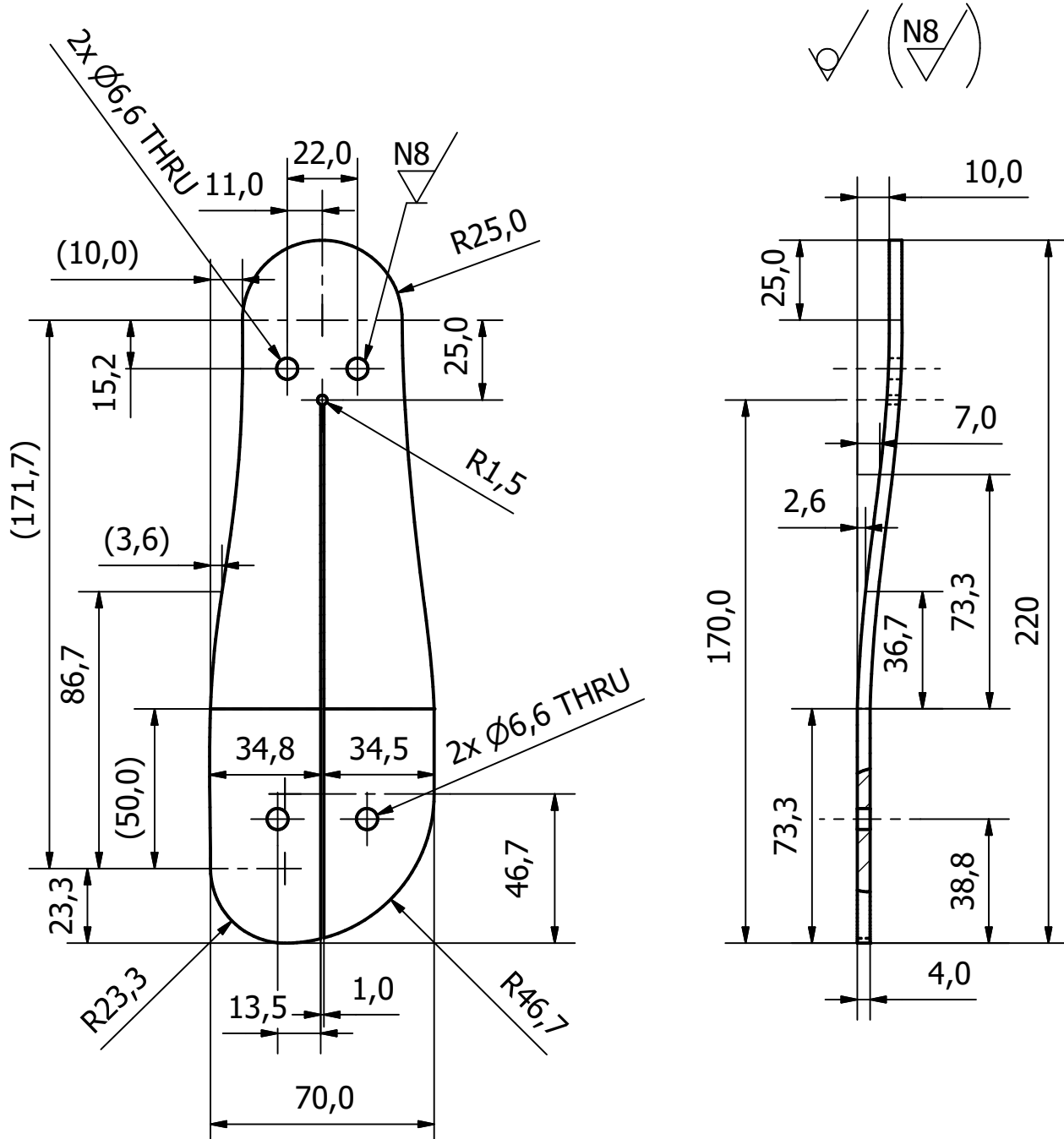
DENOMINACIÓN: Base Deslizante		ESCALA: 1 : 1	CÓDIGO: USFQ-005-24
FECHA: 4/2/2024	NOMBRE: Daniel Coral	MATERIAL: Aluminum 6061	TOLERANCIA: 0.01
Revisado por: 4/3/2024	Mateo Arteaga	TRATAMIENTO:	USFQ
Aprobado por: 5/16/2024	Patricio Chiriboga	basedeslizante	

N6 / (N8)



DENOMINACIÓN: Prisionero Diagonal	ESCALA: 3 : 1	CÓDIGO: USFQ-006-24
--------------------------------------	------------------	------------------------

	FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por:	4/4/2024	Mateo Arteaga	Steel ASTM A36	0.01
Revisado por:	4/3/2024	Gabriel Garcia	TRATAMIENTO:	
Aprobado por:	5/16/2024	Patricio Chiriboga	base_trap	



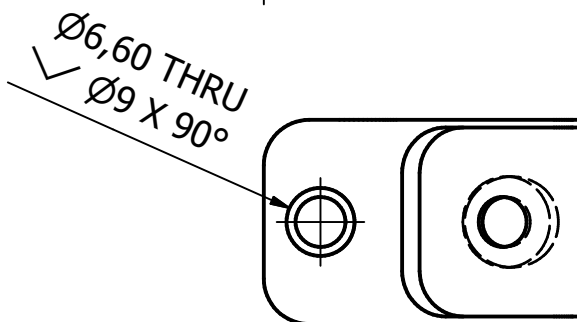
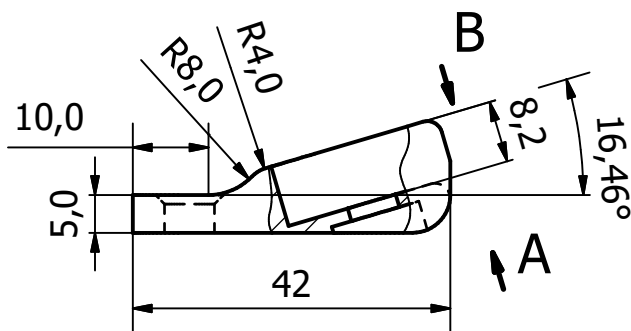
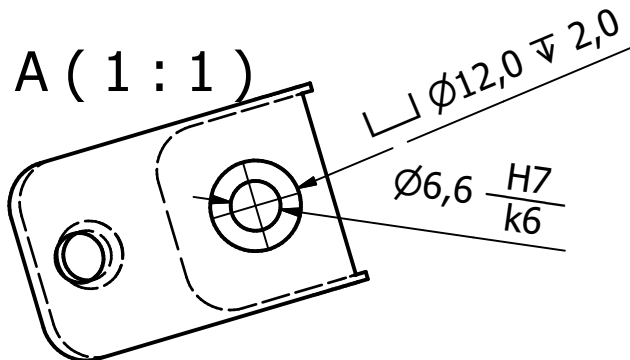
**Notas:**

La composición final de la pieza debería ser 50% resina epoxi y 50% fibra de carbono  
 Se espera que la pieza tenga 16 capas de fibra de carbono (el ancho de cada de capa es de 0.25 mm)  
 El acabado superficial será el que brinde el proceso.

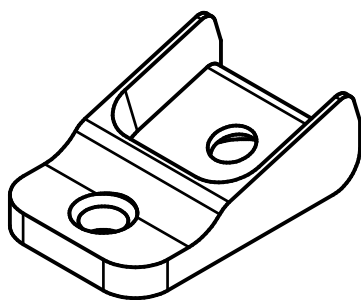
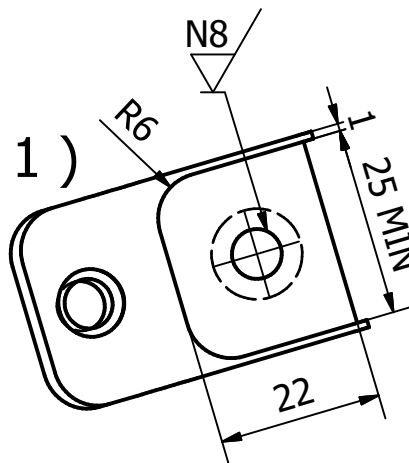
DENOMINACIÓN: Planta Pie Izquierdo		ESCALA: 1 : 2	CÓDIGO: USFQ-007-24
FECHA: 4/1/2024	NOMBRE: Gabriel Garcia	MATERIAL: CFRP Twill weave 2x2	TOLERANCIA: 0.1
Revisado por: 4/3/2024	Mateo Arteaga	TRATAMIENTO:	
Aprobado por:	Patricio Chiriboga	foot_sole_left	

N6 (N8)

A (1:1)



B (1:1)



DENOMINACIÓN:

Base Tendón

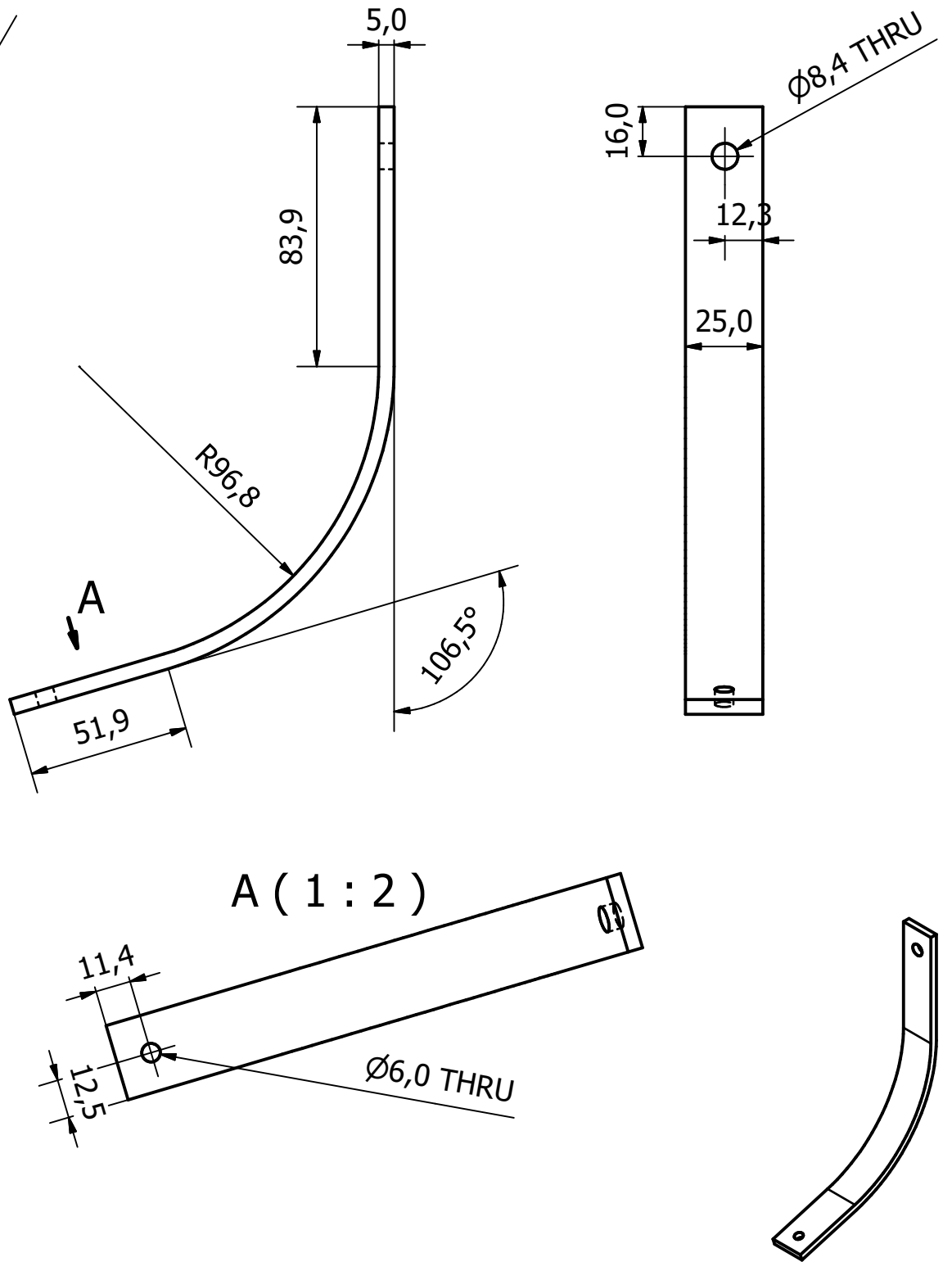
ESCALA:

1 : 1

CÓDIGO:

USFQ-008-24

	FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por:	3/21/2024	Mateo Arteaga	Aluminum 6061	0.01
Revisado por:	4/4/2024	Natanael Calle	TRATAMIENTO:	
Aprobado por:	5/16/2024	Patricio Chiriboga	fitting_test	

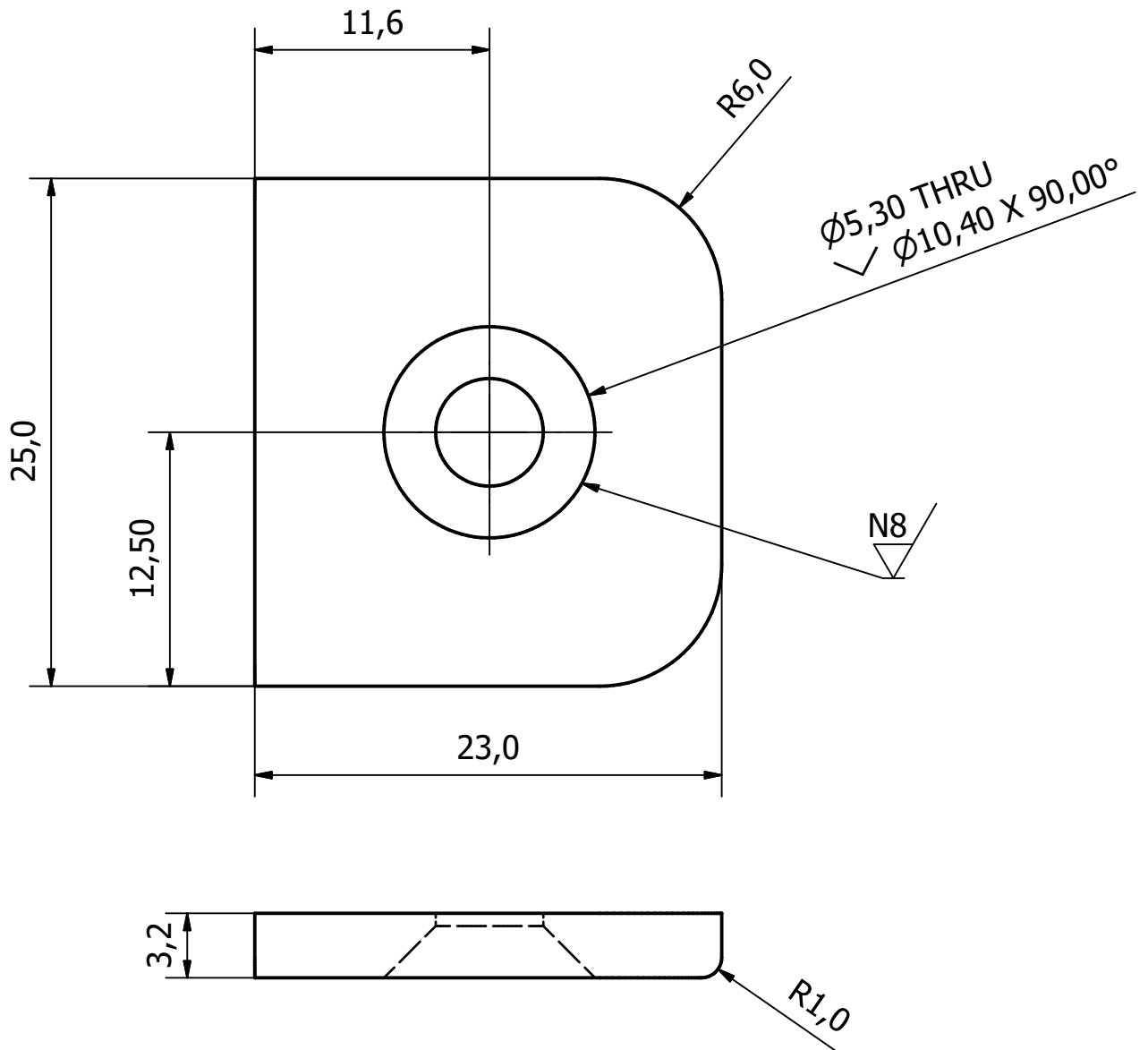
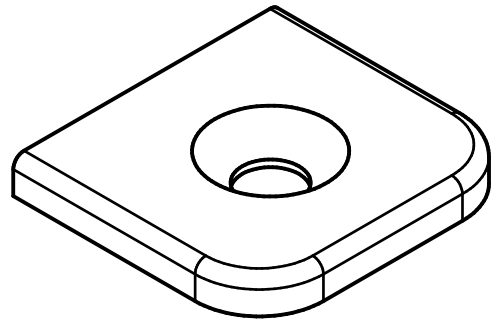


Notas:

La composición final de la pieza debería ser 50% resina epoxi y 50% fibra de carbono  
Se espera que la pieza tenga 16 capas de fibra de carbono (el ancho de cada de capa es de 0.25 mm)  
El acabado superficial será el que brinde el proceso.

DENOMINACIÓN: Tendón J		ESCALA: 1 : 2	CÓDIGO: USFQ-009-24
FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por: 4/1/2024	Gabriel Garcia	CFRP Twill weave 2x2	0.1
Revisado por: 4/3/2024	Mateo Arteaga	TRATAMIENTO:	
Aprobado por:	Patricio Chiriboga	J_tendon_single	

N6 / (N8)



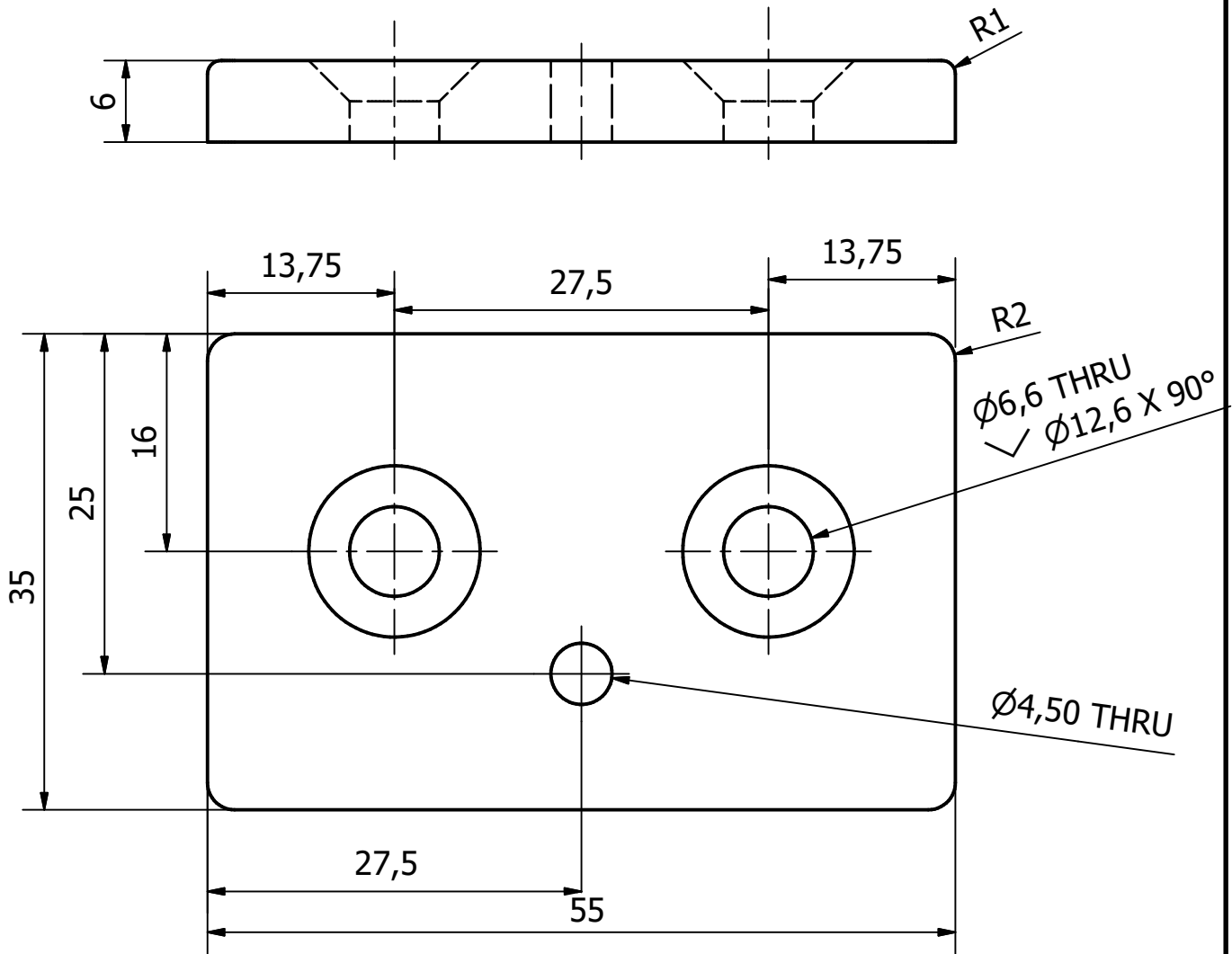
DENOMINACIÓN:  
Tapa Tendón

ESCALA:  
3 : 1

CÓDIGO:  
USFQ-010-24

	FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por:	4/4/2024	Mateo Arteaga	Aluminum 6061	0.1
Revisado por:	4/3/2024	Gabriel Garcia	TRATAMIENTO:	
Aprobado por:	5/16/2024	Patricio Chiriboga	lid_joint	

N5



DENOMINACIÓN:


Placa De Ajuste

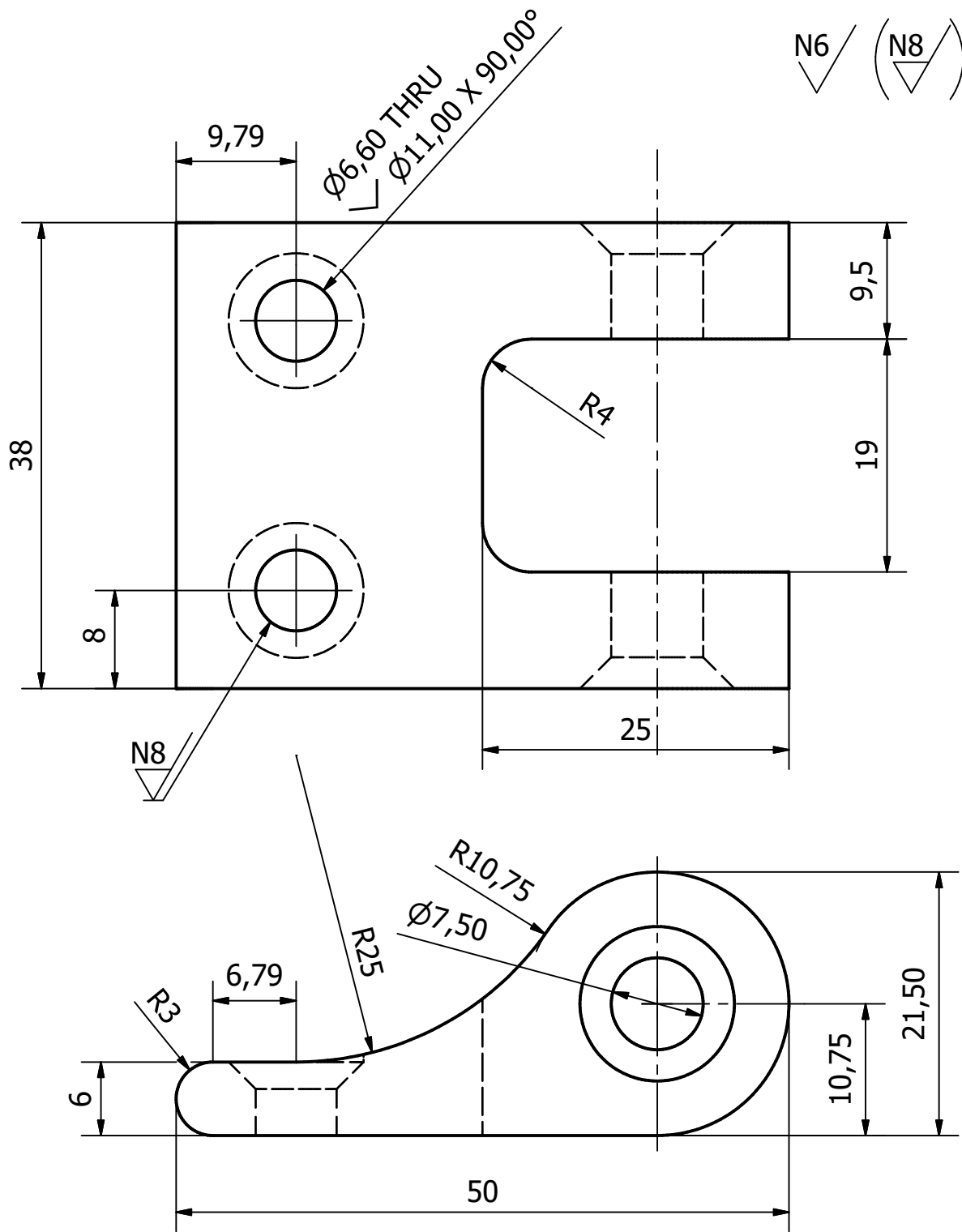
ESCALA:

2 : 1

CÓDIGO:

USFQ-011-24

	FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por:	3/25/2024	Mateo Arteaga	Aluminum 6061	0.01
Revisado por:	4/4/2024	Daniel Coral	TRATAMIENTO:	
Aprobado por:	5/16/2024	Patricio Chiriboga	lid_top	



DENOMINACIÓN:


Base Damper

ESCALA:

2 : 1

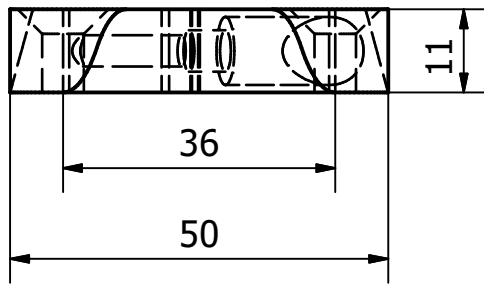
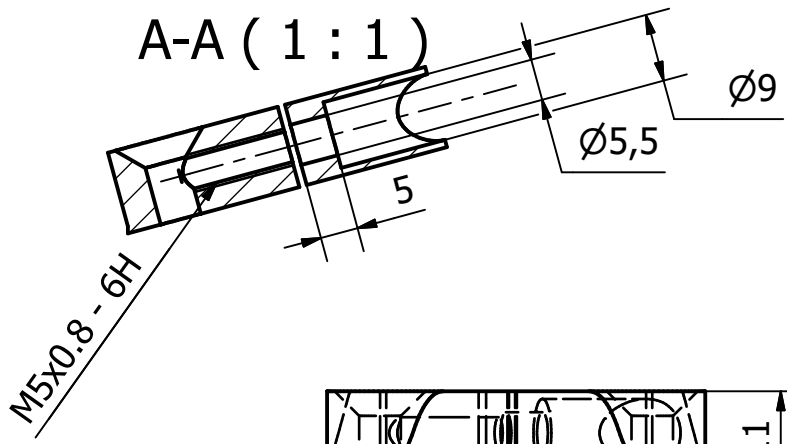
CÓDIGO:

USFQ-012-24

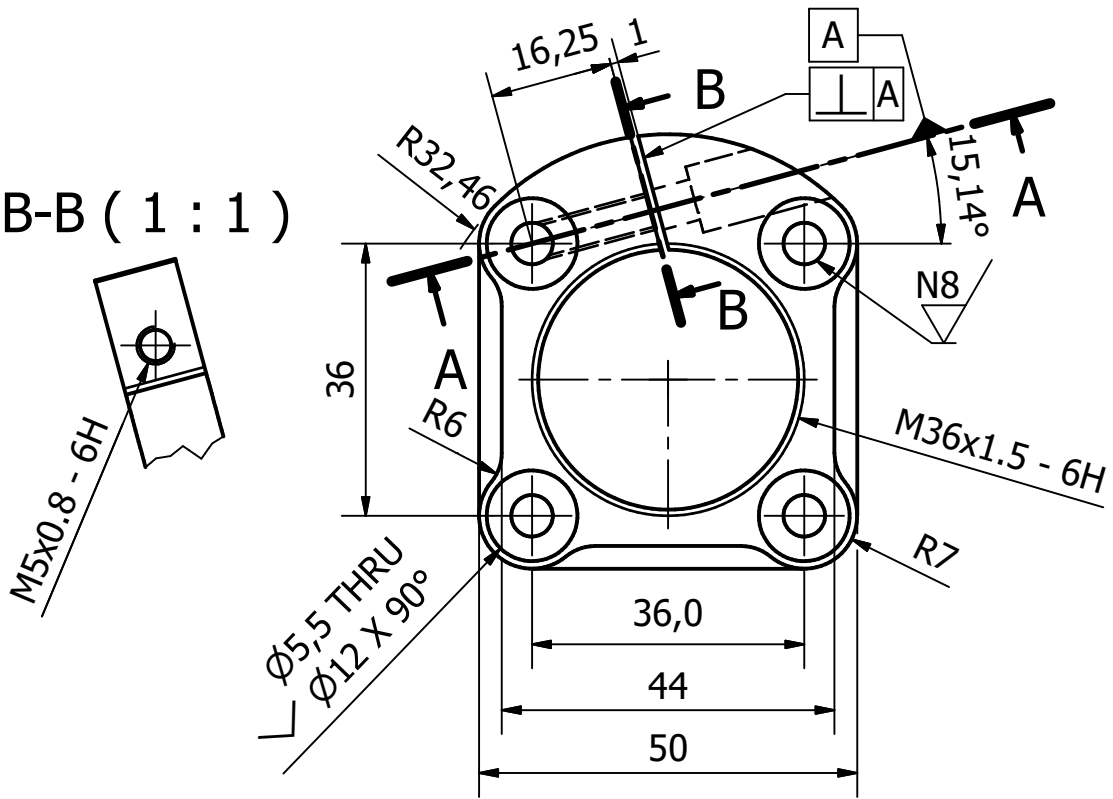
	FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por:	4/4/2024	Mateo Arteaga	Aluminum 6061	0.01
Revisado por:	4/3/2024	Gabriel Garcia	TRATAMIENTO:	
Aprobado por:	5/16/2024	Patricio Chiriboga	anchor_damper	



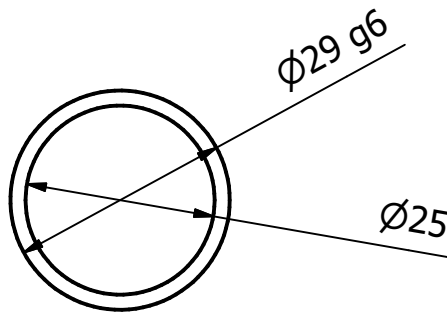
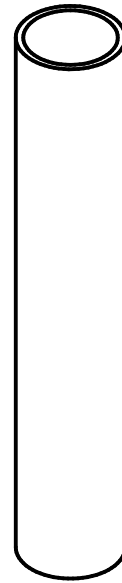
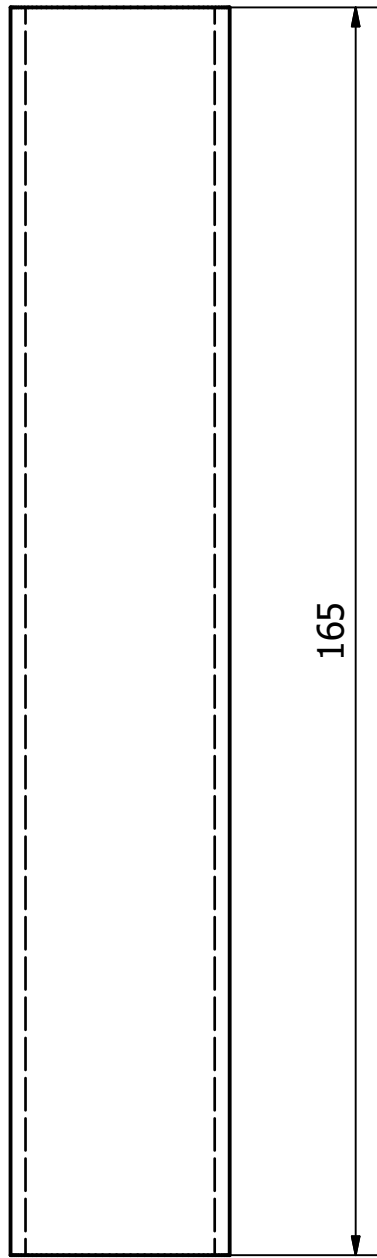
N6 (N8)



B-B (1:1)




DENOMINACIÓN: Base Acople Socket		ESCALA: 1 : 1	CÓDIGO: USFQ-013-24
FECHA: 3/26/2024	NOMBRE: Mateo Arteaga	MATERIAL: Aluminum 6061	TOLERANCIA: 0.01
Revisado por: 4/3/2024	Daniel Coral	TRATAMIENTO:	USFQ
Aprobado por: 5/16/2024	Patricio Chiriboga	base_acople_h_96219	



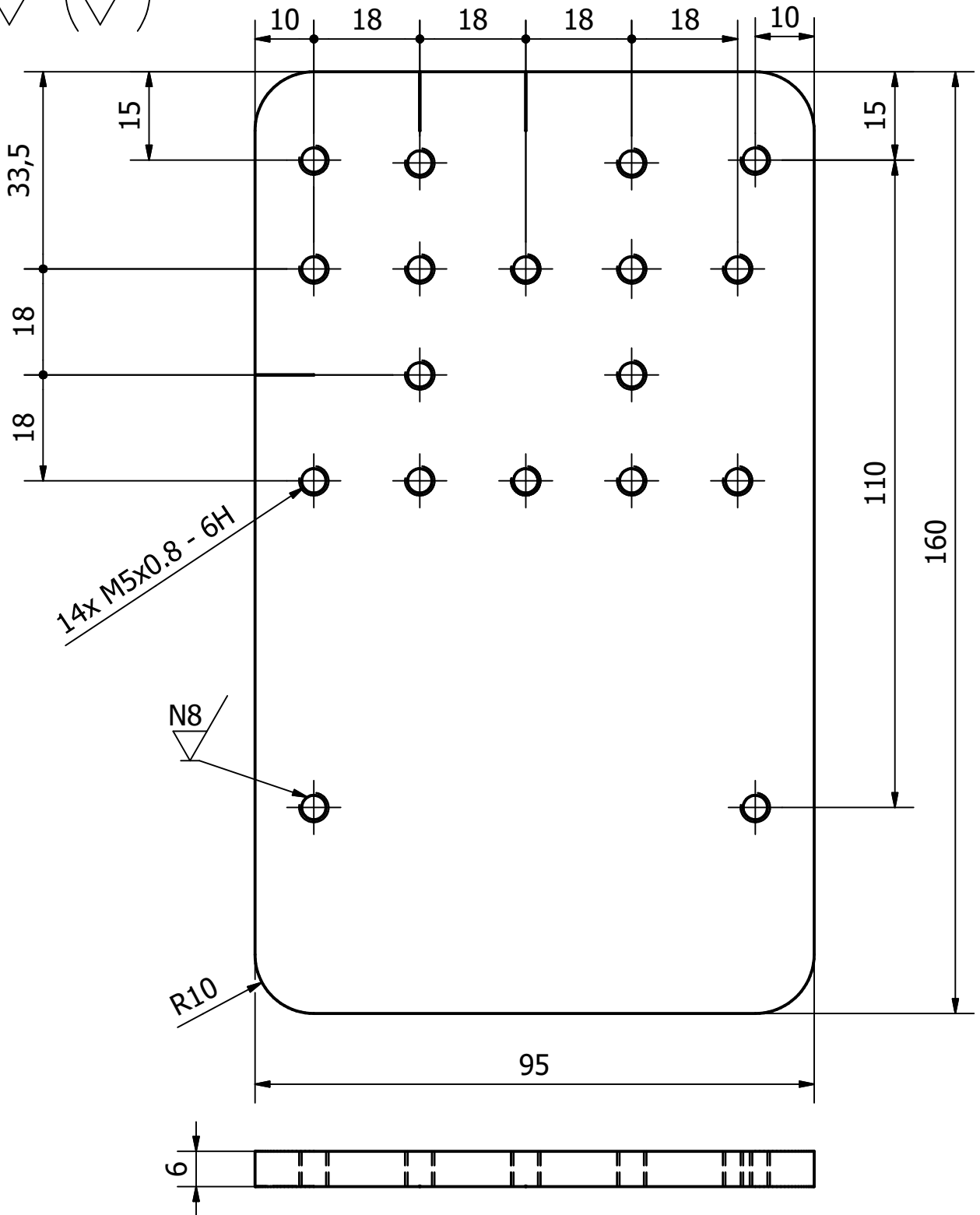
DENOMINACIÓN:  
Tibia

ESCALA:  
1 : 1

CÓDIGO:  
USFQ-014-24

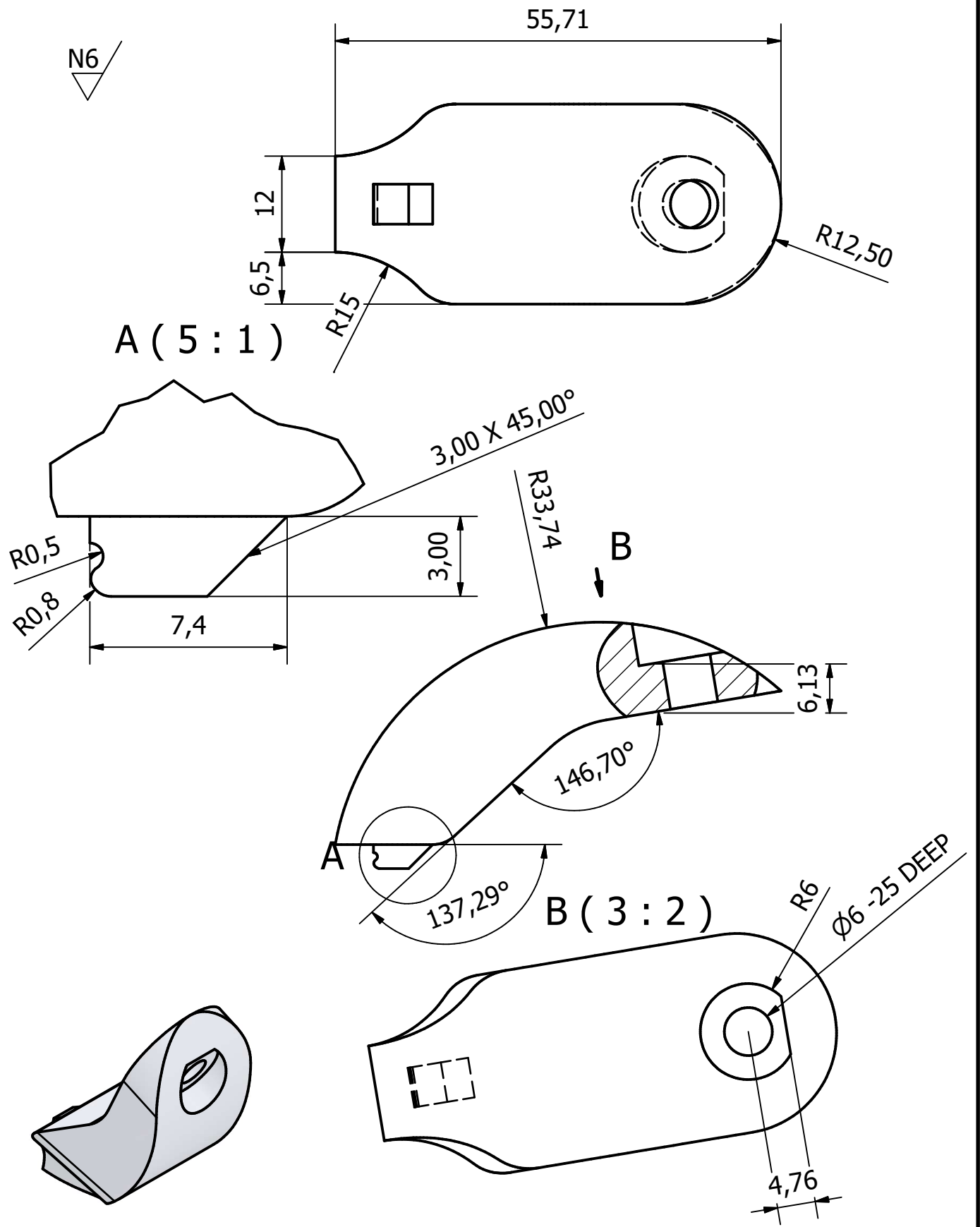
	FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por:	4/4/2024	Mateo Arteaga	Aluminum 6061	0.01
Revisado por:	4/3/2024	Gabriel Garcia	TRATAMIENTO:	
Aprobado por:	5/16/2024	Patricio Chiriboga	tibia	

N6 / (N8)



DENOMINACIÓN: Placa Socket		ESCALA: 1 : 1	CÓDIGO: USFQ-015-24
FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por: 3/25/2024	Mateo Arteaga	Aluminum 6061	0.1
Revisado por: 4/4/2024	Gabriel Garcia	TRATAMIENTO:	
Aprobado por: 5/16/2024	Patricio Chiriboga	placa_socket	

N6



DENOMINACIÓN:

Tope

ESCALA:

1 : 1

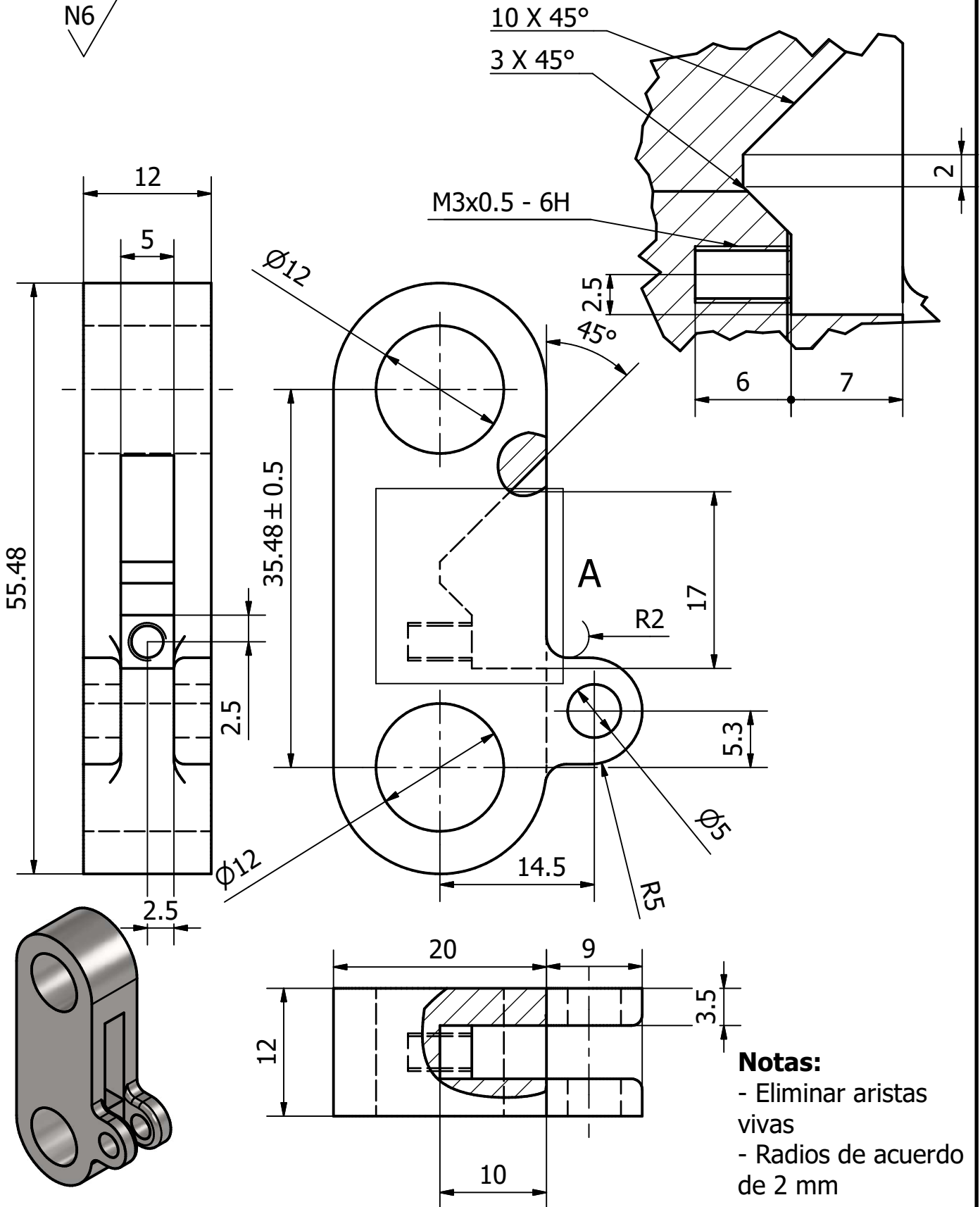
CÓDIGO:

USFQ-016-24

	FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por:	4/3/2024	Natanael Calle	PBT Plastic	0.01
Revisado por:	4/4/2024	Mateo Arteaga	TRATAMIENTO:	
Aprobado por:	5/16/2024	Patricio Chiriboga	tope	

N6

A (3 : 1)



**Notas:**

- Eliminar aristas vivas
- Radios de acuerdo de 2 mm

DENOMINACIÓN:


Barra Posterior

ESCALA:

2 : 1

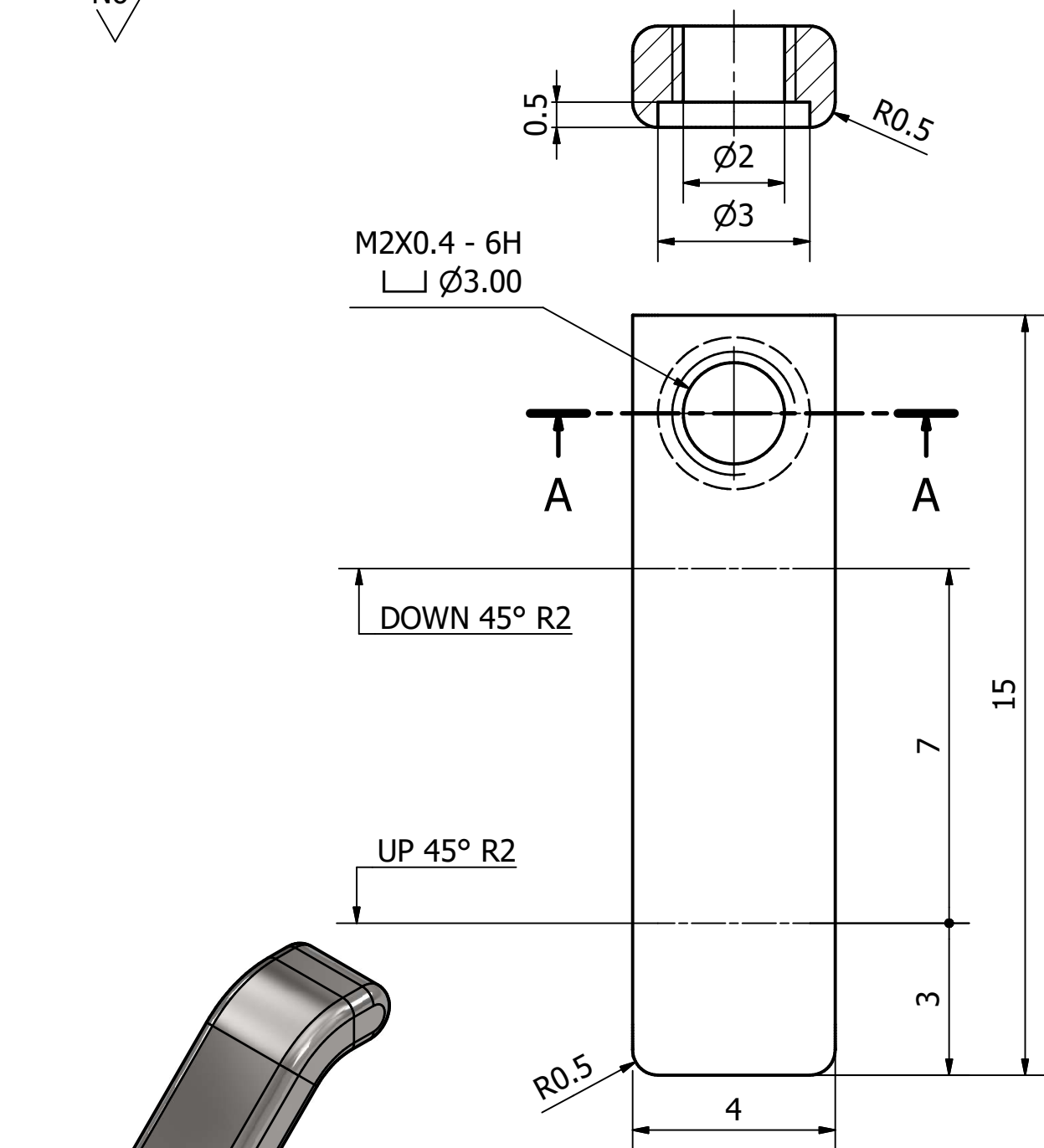
CÓDIGO:

USFQ-017-24

	FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por:	4/3/2024	Natanael Calle	Steel AISI 1018 106 HR	0.1
Revisado por:	4/3/2024	Mateo Arteaga	TRATAMIENTO:	
Aprobado por:	5/16/2024	Patricio Chiriboga	Posterior (barra 1)_new	

N6

### Sección A-A ( 8 : 1 )

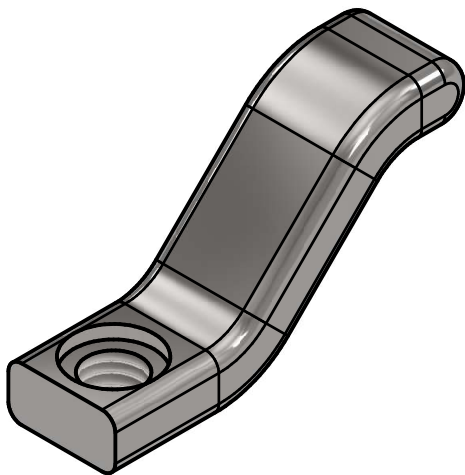
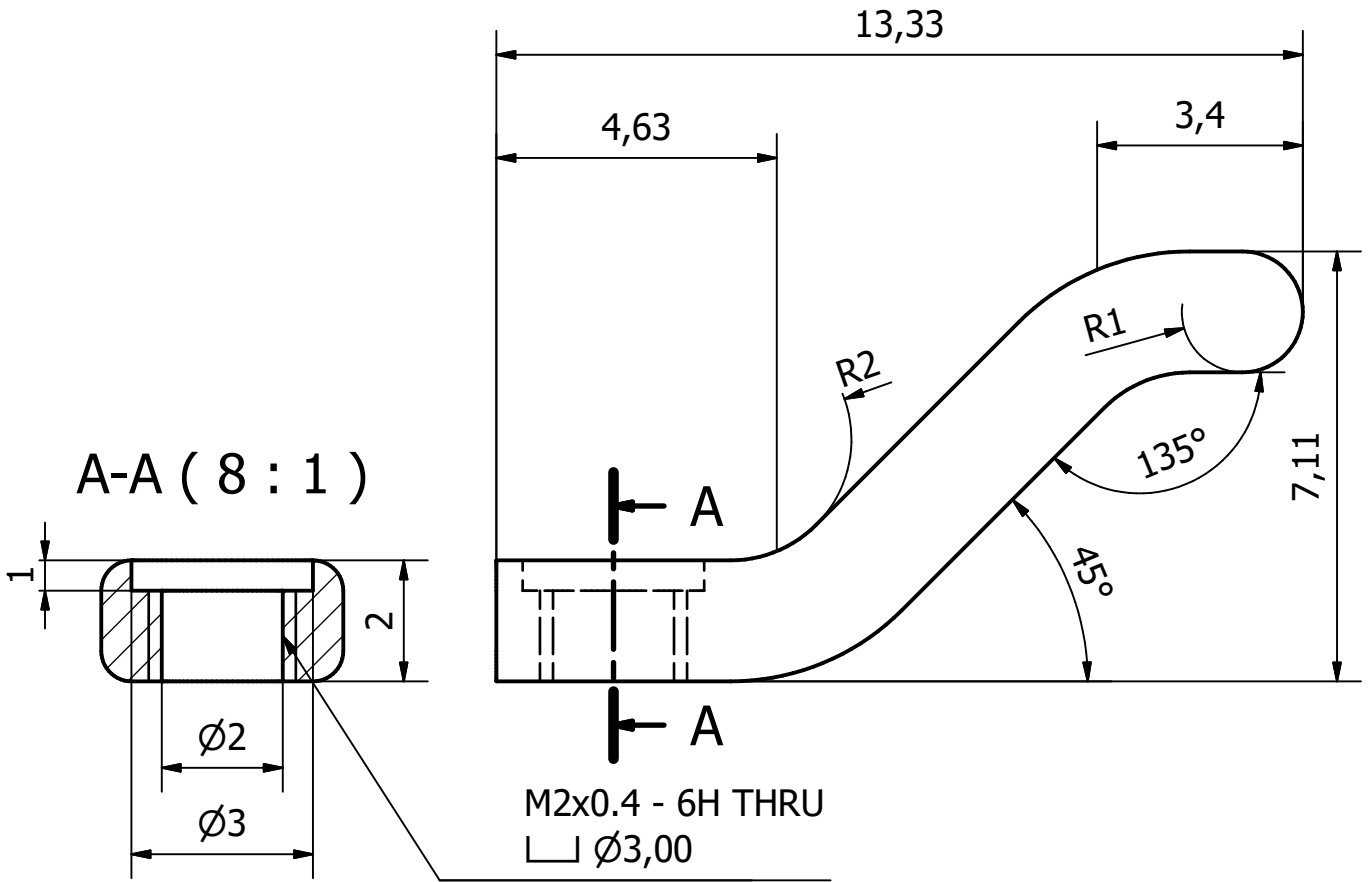


**Notas:**

- Unidades en [mm]
- La placa o plancha de Acero debe tener 2 mm de espesor.
- Empalme aplica a todas las aristas con excepción de la cara frontal del agujero
- Eliminar aristas vivas

DENOMINACIÓN: Locking Pin		ESCALA: 8 : 1	CÓDIGO: USFQ-018-24
FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por: 4/1/2024	Natanael Calle	Steel AISI 1018 106 HR	0.1
Revisado por: 4/3/2024	Mateo Arteaga	TRATAMIENTO: Recocido	
Aprobado por: 5/16/2024	Patricio Chiriboga	LockPin_SheetMetal	

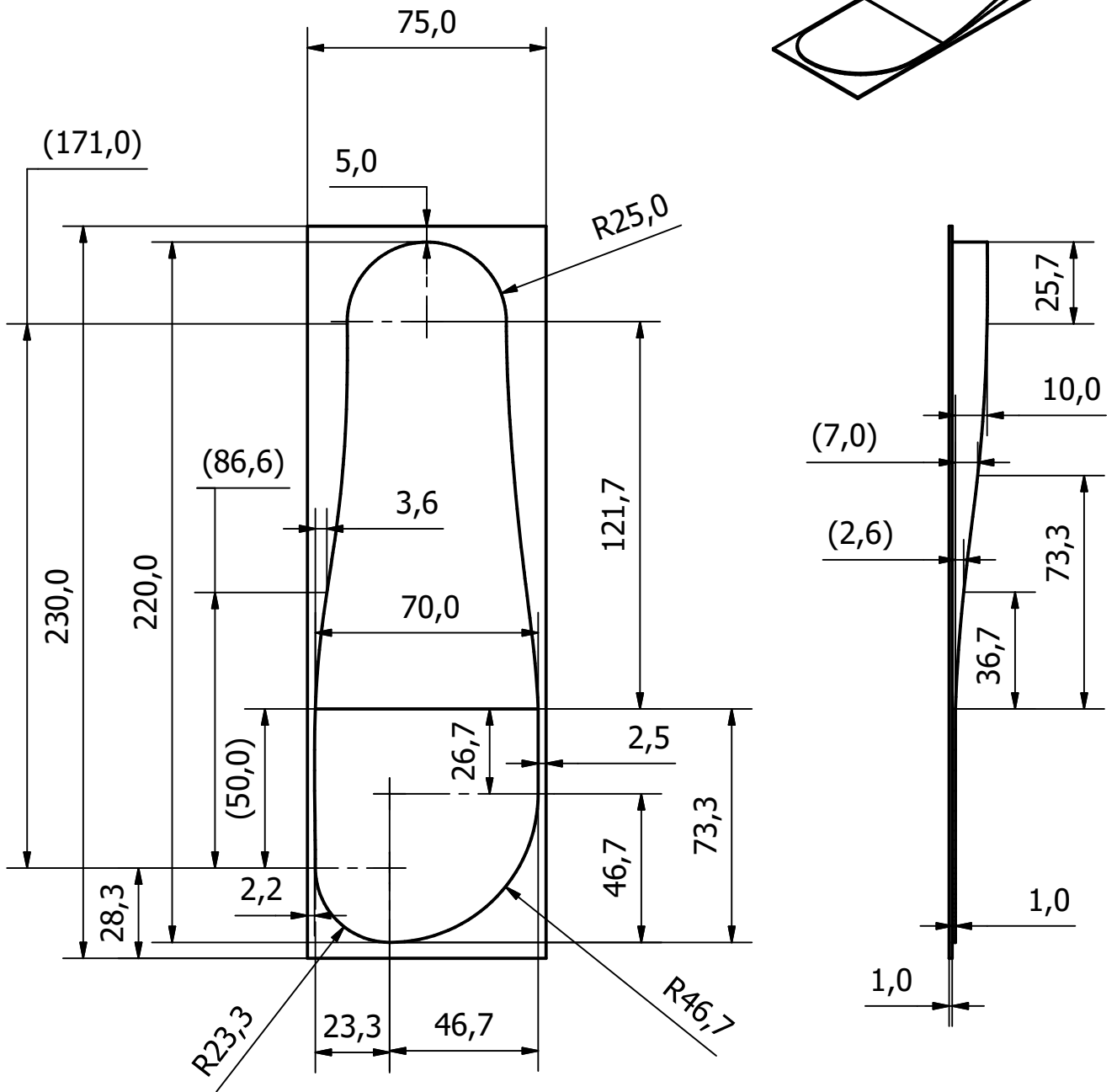
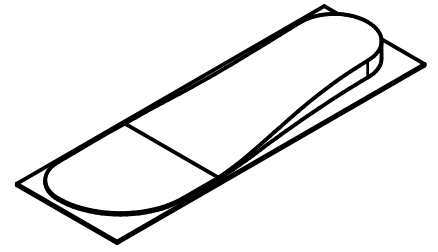
N6



**Notas:**


- Eliminar aristas vivas
- Radios de acuerdo de 2 mm

DENOMINACIÓN: CNC Locking Pin		ESCALA: 8 : 1	CÓDIGO: USFQ-018-24
FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por: 4/3/2024	Natanael Calle	Steel AISI 1018 106 HR	0.1
Revisado por: 4/3/2024	Mateo Arteaga	TRATAMIENTO:	
Aprobado por: 5/16/2024	Patricio Chiriboga	LockPin_SheetMetal	

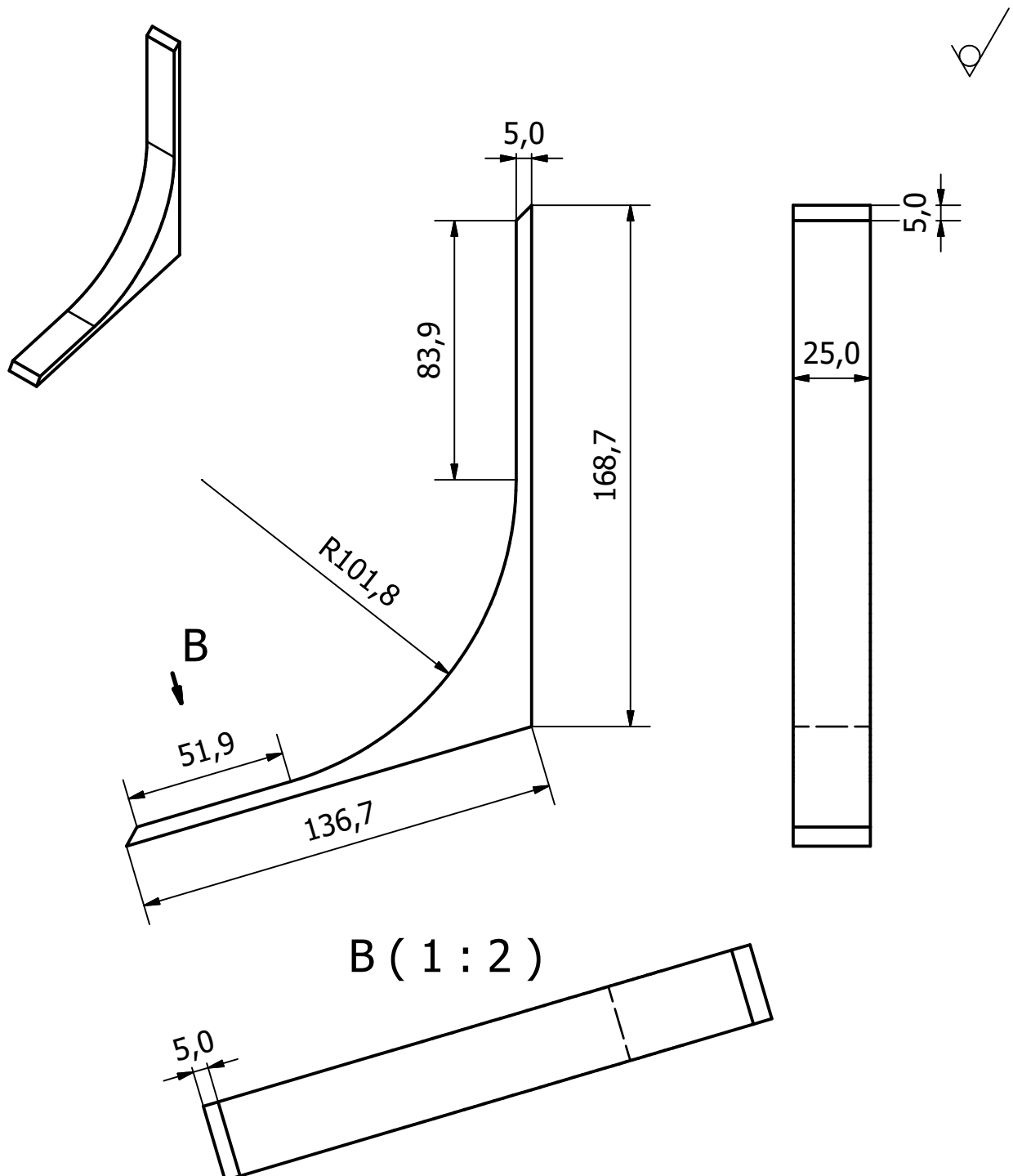


**Notas:**

Las configuraciones para la impresión 3D es de 0.30 mm DRAFT, y relleno de 5%.  
El acabado de la pieza es el dado por la impresión.


DENOMINACIÓN: Molde Planta de Pie		ESCALA: 1 : 4	CÓDIGO: USFQ-020-24
FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por: 4/1/2024	Gabriel Garcia	PET Plastic	0.1
Revisado por: 4/3/2024	Mateo Arteaga	TRATAMIENTO:	
Aprobado por:	Patricio Chiriboga	mold_foot	

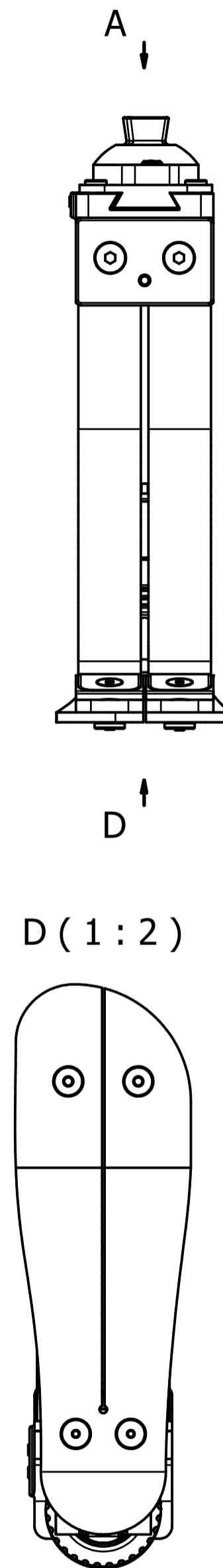
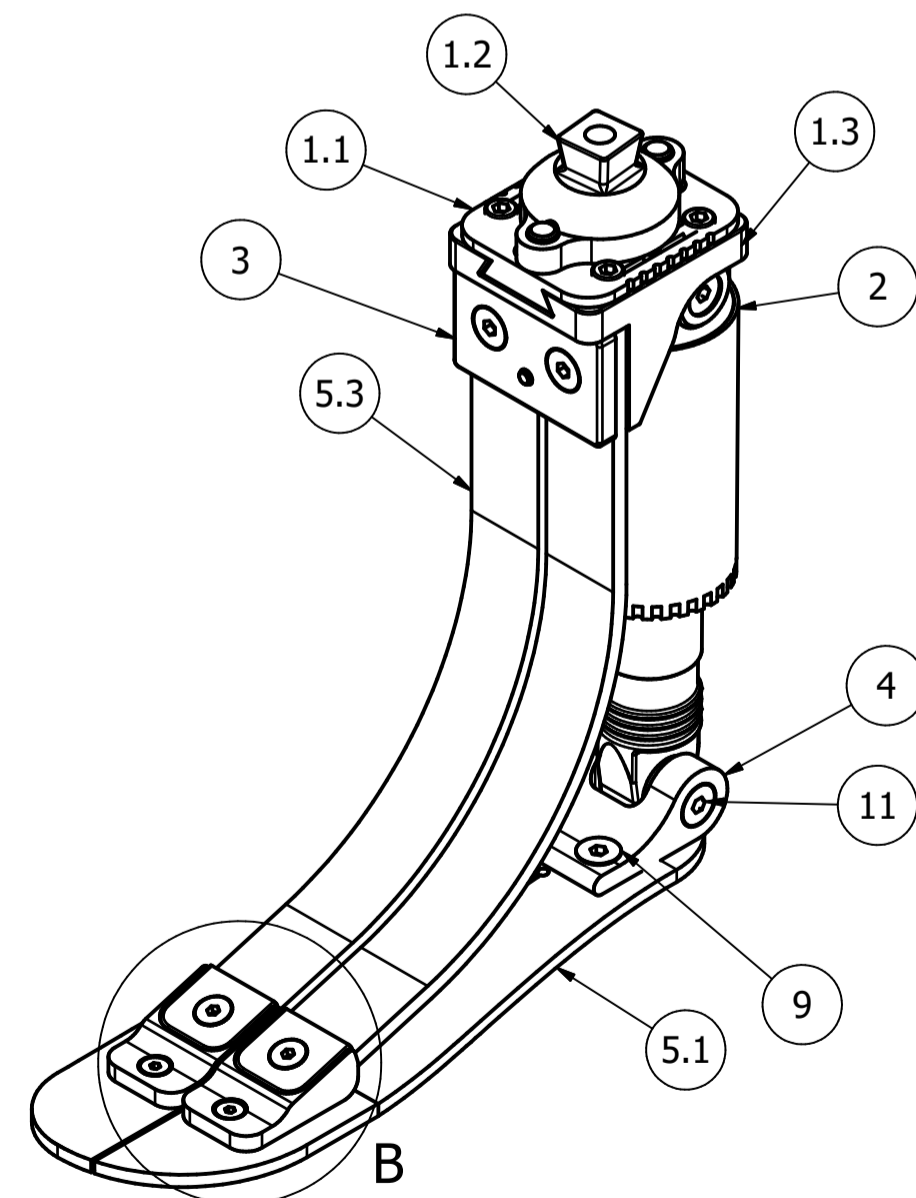
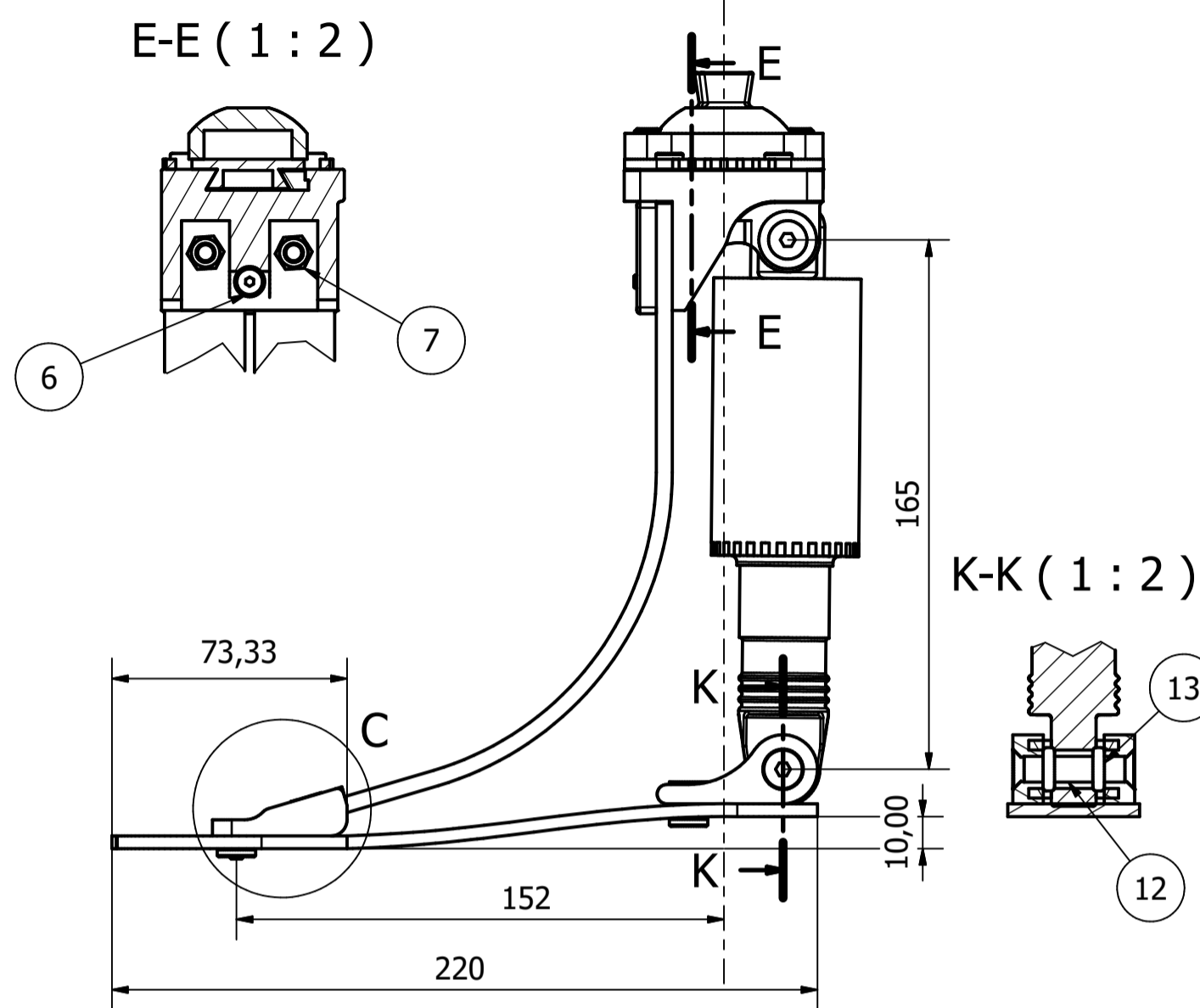
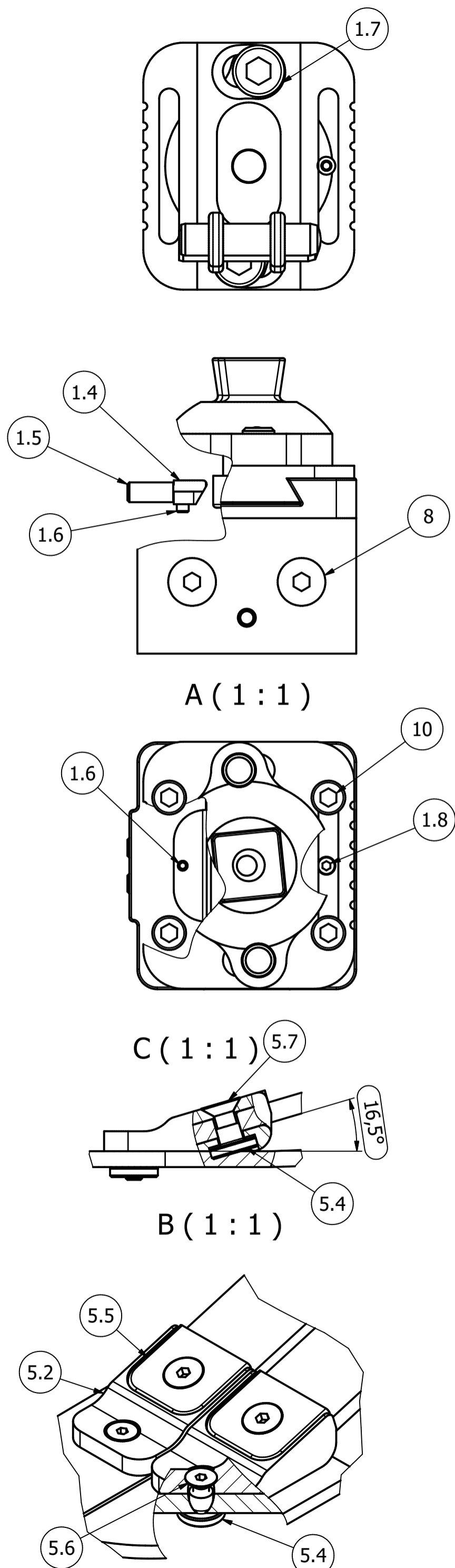




**Notas:**

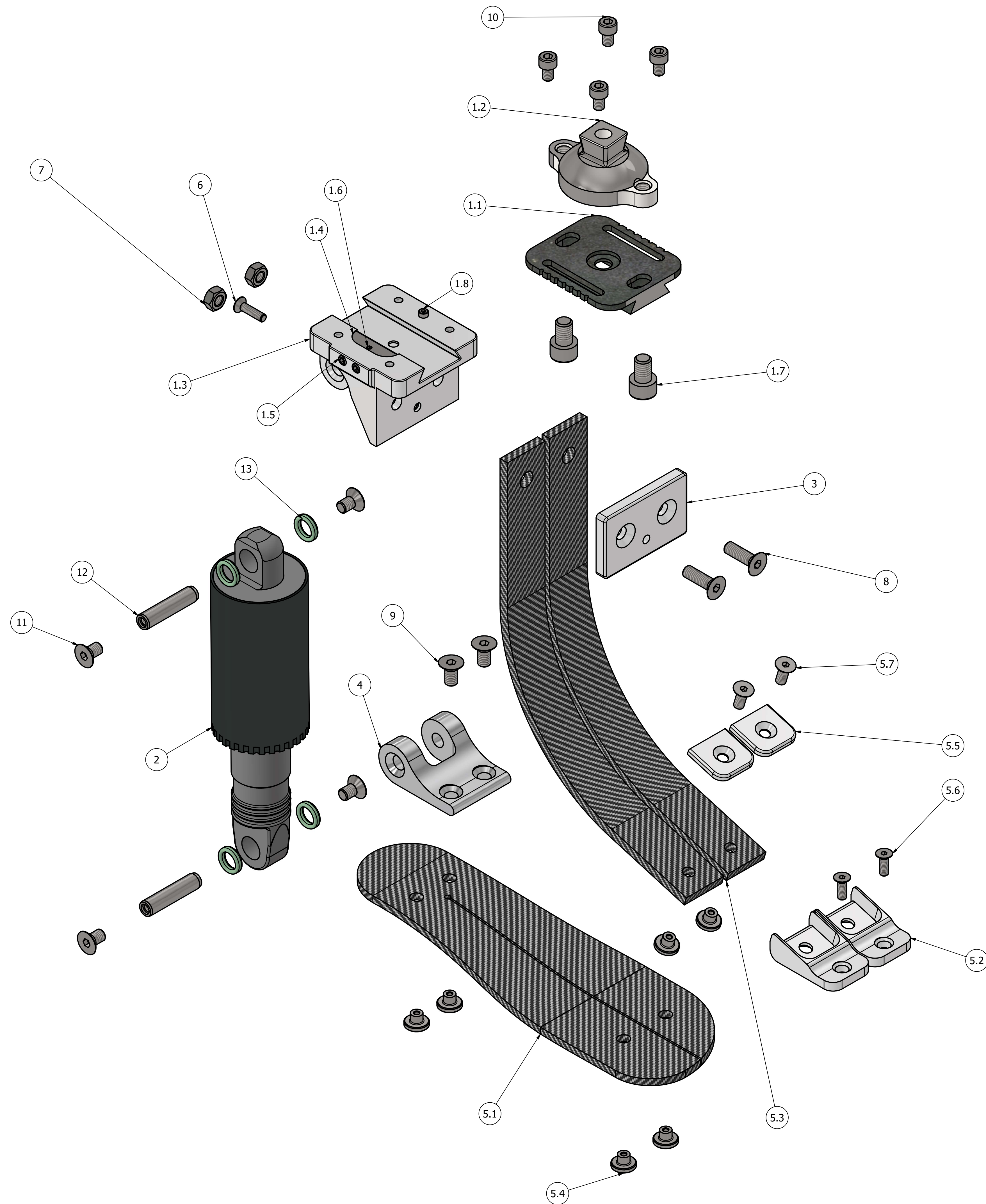
Las configuraciones para la impresión 3D es de 0.30 mm DRAFT, y relleno de 5%. El acabado de la pieza es el dado por la impresión.

DENOMINACIÓN: Molde Tendones J		ESCALA: 1 : 4	CÓDIGO: USFQ-021-24
FECHA:	NOMBRE:	MATERIAL:	TOLERANCIA:
Dibujado por: 4/1/2024	Gabriel Garcia	PET Plastic	0.1
Revisado por: 4/3/2024	Mateo Arteaga	TRATAMIENTO:	
Aprobado por: 5/16/2024	Patricio Chiriboga	mold_tendon	



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Ensamble Tobillo	
1.1	1	basepiramide	
1.2	1	piramide	
1.3	1	basedeslizante	
1.4	1	base_trap	
1.5	2	ISO 4026 - M5 x 12	Hexagon socket set screws with flat point
1.6	1	ISO 4026 - M3 x 8	Hexagon socket set screws with flat point
1.7	2	ISO 4762 - M8 x 12	Hexagon Socket Head Cap Screw
1.8	1	ISO 4762 - M2.5 x 4	Hexagon Socket Head Cap Screw
2	1	DNM DV22 165x35	Damper
3	1	lid_top	
4	1	anchor_damper	
5	1	Foot	
5.1	1	foot_sole_left	
5.2	2	fitting_test	
5.3	2	J_tendon_single	
5.4	6	CSN 021461 - M3	Knurled nuts
5.5	2	lid_joint	
5.6	2	ISO 10642 - M4 x 12	Hexagon socket countersunk head cap screws
5.7	2	ISO 10642 - M5 x 12	Hexagon socket countersunk head cap screws
6	1	ISO 10642 - M4 x 16	Hexagon socket countersunk head cap screws
7	2	ISO 4032 - M6	Hexagon nuts, style 1 - Product grades A and B
8	2	ISO 10642 - M6 x 20	Hexagon socket countersunk head cap screws
9	2	ISO 10642 - M6 x 12	Hexagon socket countersunk head cap screws
10	4	ISO 4762 - M5 x 8	Hexagon Socket Head Cap Screw
11	4	ISO 10642 - M6 x 10	Hexagon socket countersunk head cap screws
12	2	PN-89/M-85018 - 8 x 35 - H	Parallel pins with internal thread
13	4	2-110 13,5 mm KolbenØ	O Ring

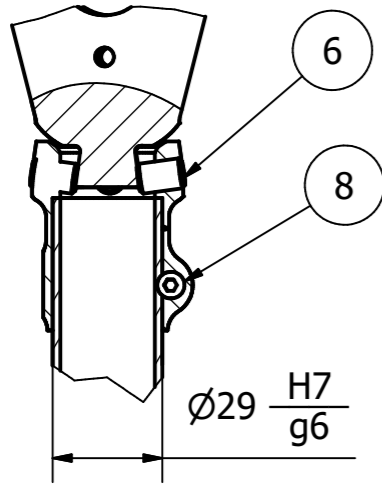
DENOMINACIÓN: TWI Pro					TAMAÑO: A2	
FECHA:	NOMBRE:	ESCALA:	CÓDIGO:	PESO:	HOJA Nº:	
4/1/2024	Mateo Arteaga	1:2	USFQ-100-24	N/A	1	
Revisado por:	4/18/2024	Daniel Coral	Pathfinder			USFQ
Aprobado por:	4/25/2024	Patricio Chiriboga, PhD				



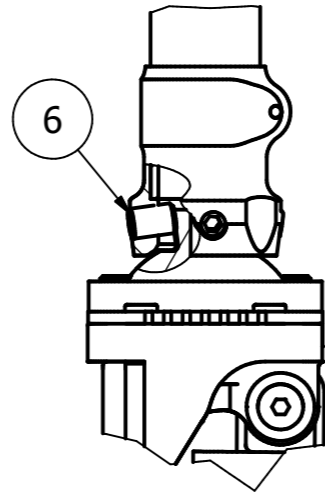
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Ensamble Tobillo	
1.3	1	basedeslizante	
1.4	1	base_trap	
1.5	2	ISO 4026 - M5 x 12	Hexagon socket set screws with flat point
1.6	1	ISO 4026 - M3 x 8	Hexagon socket set screws with flat point
1.7	2	ISO 4762 - M8 x 12	Hexagon Socket Head Cap Screw
1.8	1	ISO 4762 - M2.5 x 4	Hexagon Socket Head Cap Screw
2	1	DNM DV22 165x35	Damper
3	1	lid_top	
4	1	anchor_damper	
5.6	2	ISO 10642 - M4 x 12	Hexagon socket countersunk head cap screws
5.7	2	ISO 10642 - M5 x 12	Hexagon socket countersunk head cap screws
6	1	ISO 10642 - M4 x 16	Hexagon socket countersunk head cap screws
7	2	ISO 4032 - M6	Hexagon nuts, style 1 - Product grades A and B
8	2	ISO 10642 - M6 x 20	Hexagon socket countersunk head cap screws
9	2	ISO 10642 - M6 x 12	Hexagon socket countersunk head cap screws
5	1	Foot	
5.1	1	foot_sole_left	
5.2	2	fitting_test	
5.3	2	J_tendon_single	
5.4	2	CSN 021461 - M3	Knurled nuts
5.5	2	lid_joint	
1.1	1	basepiramide	
1.2	1	piramide	
10	4	ISO 4762 - M5 x 8	Hexagon Socket Head Cap Screw
11	4	ISO 10642 - M6 x 10	Hexagon socket countersunk head cap screws
12	2	PN-89/M-85018 - 8 x 35 - H	Parallel pins with internal thread
13	4	2-110 13,5 mm KolbenØ	O Ring

DENOMINACIÓN: TWI Pro					TAMAÑO: A1
FECHA:	NOMBRE:	ESCALA:	CÓDIGO:	PESO:	HOJA Nº:
Dibujado por: 4/1/2024	Matteo Arteaga	1 : 1	USFQ-100-24	N/A	2
Revisado por: 4/18/2024	Daniel Coral	Pathfinder			USFQ
Aprobado por: 4/25/2024	Patricio Chiriboga, PhD				

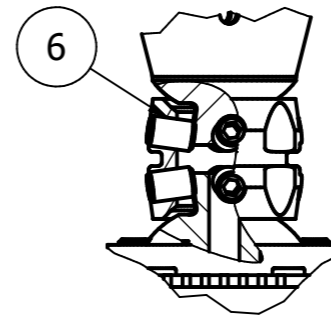
A (1:2)



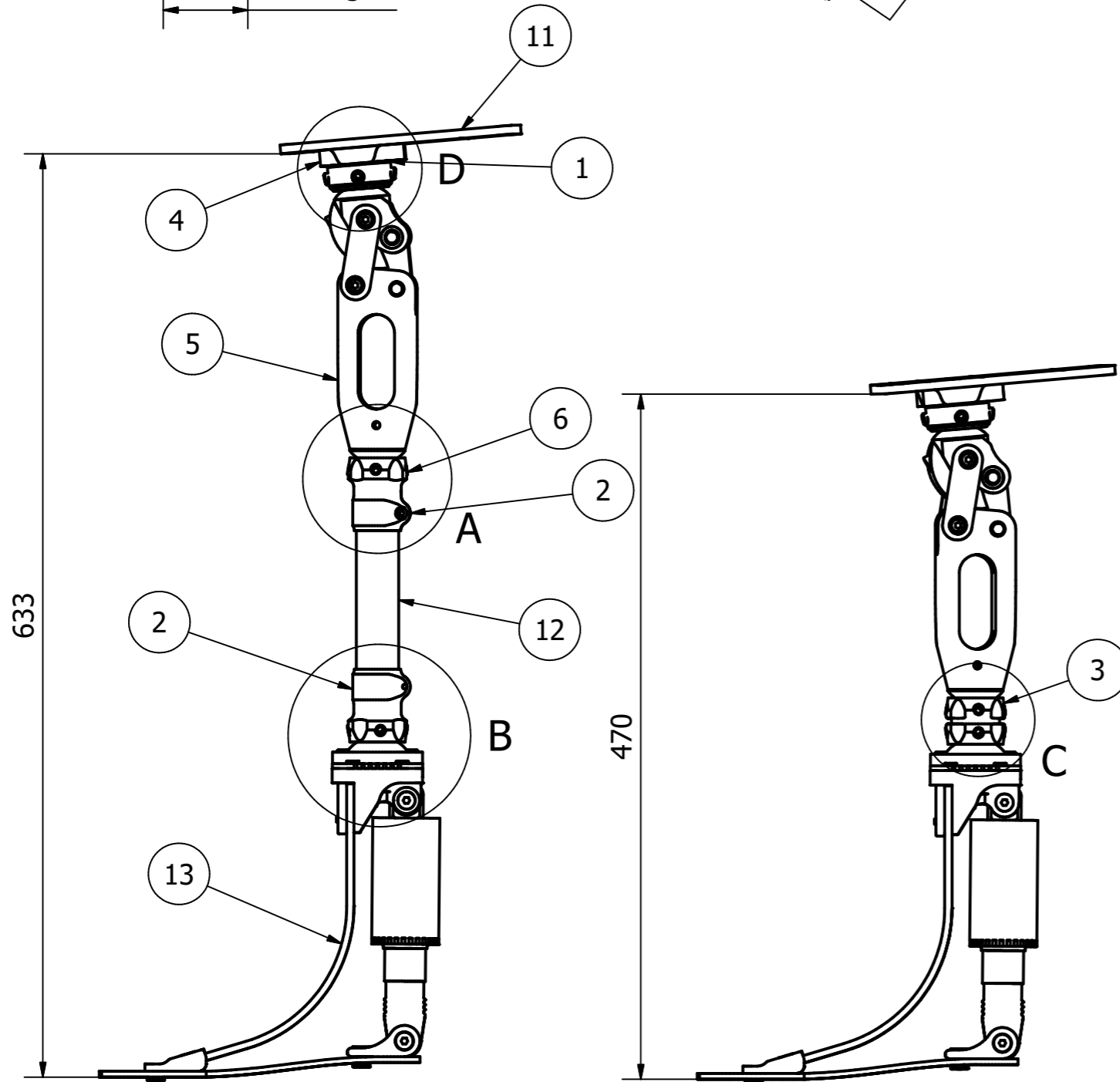
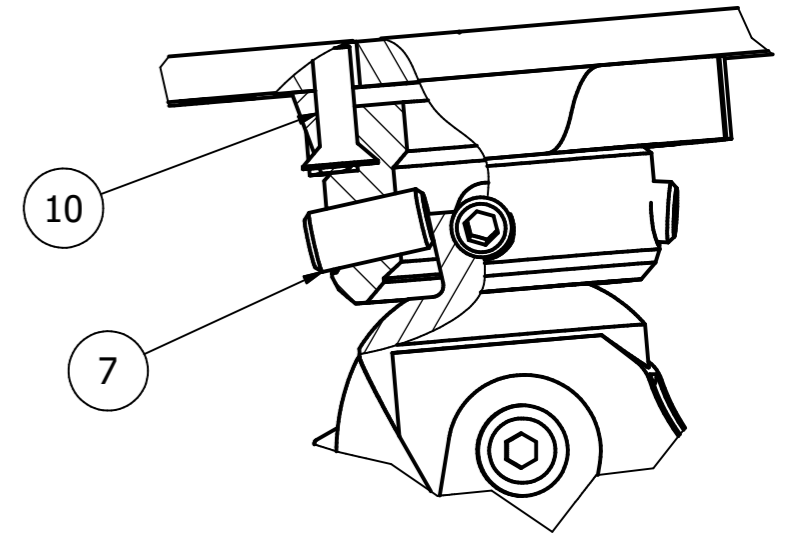
B (1:2)



C (1:2)



D (1:1)



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	acople_h_AAA214-01	
2	2	acople_h_tibia	
3	1	acople_h_tibia_short	
4	1	base_acople_h_96219	
5	1	I3M Pro	
6	8	ISO 4026 - M8 x 12	Hexagon socket set screws with flat point
7	4	ISO 4026 - M8 x 16	Hexagon socket set screws with flat point
8	2	ISO 4762 - M4 x 20	Hexagon Socket Head Cap Screw
9	1	ISO 4762 - M5 x 20	Hexagon Socket Head Cap Screw
10	4	ISO 10642 - M5 x 16	Hexagon socket countersunk head cap screws
11	1	placa_socket	
12	1	tibia	
13	1	TWI Pro	

DENOMINACIÓN: Protesis Transfemoral						TAMAÑO: A3
FECHA:	NOMBRE:	ESCALA:	CÓDIGO:	PESO:	HOJA Nº:	
Dibujado por: 4/3/2024	Mateo Arteaga	1 : 4	USFQ-200-24	N/A	1	
Revisado por: 4/3/2024	Daniel Coral	Protesis.iam				
Aprobado por:	Patricio Chiriboga					

# Hojas de Procesos

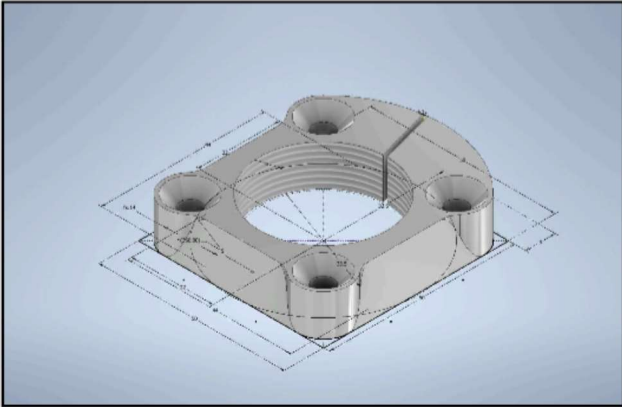
5/7/24, 6:41 PM

Setup Sheet for Program 1001


## Setup Sheet for Program 1001

JOB DESCRIPTION: Torneado

DOCUMENT PATH: C:\Users\mateo\OneDrive - Universidad San Francisco de Quito\Documents\Semesters\TESIS\Diseño Inventor\Tesis\base\_acople\_h\_96219.ipt

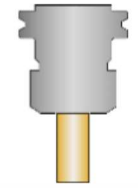


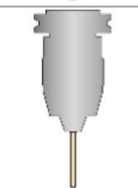
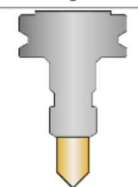
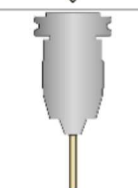
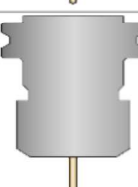
Setup	
<p><b>WCS: #0</b></p> <p><b>Stock:</b> DX: 64.91mm DY: 64.91mm DZ: 12mm</p> <p><b>PART:</b> DX: 50mm DY: 57.46mm DZ: 11mm</p> <p><b>STOCK LOWER IN WCS #0:</b> X: -32.46mm Y: -32.46mm Z: -12mm</p> <p><b>STOCK UPPER IN WCS #0:</b> X: 32.46mm Y: 32.46mm Z: 0mm</p>	

Total
<p>NUMBER OF OPERATIONS: 20</p> <p>NUMBER OF TOOLS: 12</p> <p>TOOLS: T3 T10 T12 T13 T14 T15 T16 T17 T96 T97 T98 T99</p> <p>MAXIMUM Z: 47.46mm</p> <p>MINIMUM Z: -44.63mm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 2336.8mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 10000rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 25564.02mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 9283.28mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 40m:43s</p>

Tools		
<p><b>T3 D3 L3</b></p> <p>TYPE: drill LIVE</p> <p>DIAMETER: 9mm</p> <p>TIP ANGLE: 118°</p> <p>LENGTH: 46.2mm</p> <p>FLUTES: 1</p> <p>DESCRIPTION: 5.5mm</p>	<p>MINIMUM Z: -25.58mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 736.6mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 6670rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 26.54mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 347.13mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 6s (0.3%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck</p> <p>COMMENT: Maritool CAT40-APU13</p> <p>VENDOR: Maritool</p> <p>PRODUCT: CAT40-APU13</p>
		

5/7/24, 6:41 PM



Setup Sheet for Program 1001

<b>T10 D10 L10</b> TYPE: flat end mill LIVE DIAMETER: 19.05mm LENGTH: 40.64mm FLUTES: 3 DESCRIPTION: 3/4" Flat Endmill	MINIMUM Z: 25mm MAXIMUM FEED: 2336.8mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5090rpm CUTTING DISTANCE: 1002mm RAPID DISTANCE: 561.8mm ESTIMATED CYCLE TIME: 32s (1.3%)	HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35 COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35 VENDOR: Maritool PRODUCT: CAT40-ER32-2.35	
<b>T12 D12 L12</b> TYPE: flat end mill LIVE DIAMETER: 1mm LENGTH: 22mm FLUTES: 4 DESCRIPTION: 3mm Flat Endmill	MINIMUM Z: -0.32mm MAXIMUM FEED: 740.664mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8100rpm CUTTING DISTANCE: 106.83mm RAPID DISTANCE: 25.22mm ESTIMATED CYCLE TIME: 14s (0.6%)	HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35 COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35 VENDOR: Maritool PRODUCT: CAT40-ER32-2.35	
<b>T13 D13 L13</b> TYPE: flat end mill LIVE DIAMETER: 3mm LENGTH: 22mm FLUTES: 4 DESCRIPTION: 3mm Flat Endmill	MINIMUM Z: -13.38mm MAXIMUM FEED: 740.664mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8100rpm CUTTING DISTANCE: 3511.63mm RAPID DISTANCE: 3823mm ESTIMATED CYCLE TIME: 5m:30s (13.5%)	HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35 COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35 VENDOR: Maritool PRODUCT: CAT40-ER32-2.35	
<b>T14 D14 L14</b> TYPE: drill LIVE DIAMETER: 4.37mm TIP ANGLE: 118° LENGTH: 46.2mm FLUTES: 1 DESCRIPTION: 11/64	MINIMUM Z: -44.63mm MAXIMUM FEED: 736.6mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 6670rpm CUTTING DISTANCE: 41.5mm RAPID DISTANCE: 1392.76mm ESTIMATED CYCLE TIME: 20s (0.8%)	HOLDER: Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck COMMENT: Maritool CAT40-APU13 VENDOR: Maritool PRODUCT: CAT40-APU13	
<b>T15 D15 L15</b> TYPE: countersink LIVE DIAMETER: 19mm TIP ANGLE: 90° LENGTH: 30mm FLUTES: 3	MINIMUM Z: -6mm MAXIMUM FEED: 500mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4000rpm CUTTING DISTANCE: 44.5mm RAPID DISTANCE: 249.5mm ESTIMATED CYCLE TIME: 8s (0.3%)	HOLDER: BT40 - B4C4-0016	
<b>T16 D16 L16</b> TYPE: drill LIVE DIAMETER: 5.5mm TIP ANGLE: 118° LENGTH: 46.2mm FLUTES: 1 DESCRIPTION: 5.5mm	MINIMUM Z: -30.53mm MAXIMUM FEED: 736.6mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 6670rpm CUTTING DISTANCE: 108.89mm RAPID DISTANCE: 1652.64mm ESTIMATED CYCLE TIME: 29s (1.2%)	HOLDER: Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck COMMENT: Maritool CAT40-APU13 VENDOR: Maritool PRODUCT: CAT40-APU13	
<b>T17 D17 L17</b> TYPE: ball end mill LIVE DIAMETER: 3.17mm CORNER RADIUS: 1.59mm LENGTH: 15.24mm FLUTES: 3 DESCRIPTION: 1/8" Ball Endmill	MINIMUM Z: 22mm MAXIMUM FEED: 762mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 10000rpm CUTTING DISTANCE: 20430.39mm RAPID DISTANCE: 763.37mm ESTIMATED CYCLE TIME: 26m:58s (66.2%)	HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35 COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35 VENDOR: Maritool PRODUCT: CAT40-ER32-2.35	

5/7/24, 6:41 PM

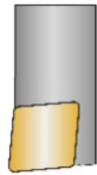
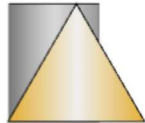
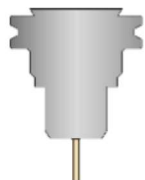
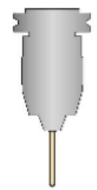
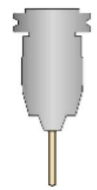
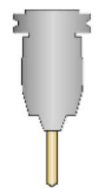
Setup Sheet for Program 1001

<p><b>T96 D0</b>                  TYPE: thread turning                  INSERT: ISO triple                  COMPENSATION: Tip tangent                  DESCRIPTION: ID Boring</p>	<p>TOOL ORIENTATION IN TURRET: Axial                  MINIMUM Z: -12mm                  MAXIMUM FEED: 0mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5000rpm                  CUTTING DISTANCE: 93.74mm                  RAPID DISTANCE: 108.37mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 1s (0.1%)</p>	<p>HOLDER: Face Right</p>	
<p><b>T97 D0</b>                  TYPE: boring turning                  INSERT: ISO C 80deg                  EDGE LENGTH: 9.82mm                  NOSE RADIUS: 0.8mm                  CROSS SECTION: T                  TOLERANCE: M                  RELIEF: N 0deg                  COMPENSATION: Tip tangent                  DESCRIPTION: ID Boring</p>	<p>TOOL ORIENTATION IN TURRET: Axial                  MINIMUM Z: -12.8mm                  MAXIMUM FEED: 345.464mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5000rpm                  CUTTING DISTANCE: 135.07mm                  RAPID DISTANCE: 162.98mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 55s (2.3%)</p>	<p>HOLDER: Boring bar ISO L Right</p>	
<p><b>T98 D0</b>                  TYPE: general turning                  INSERT: ISO C 80deg                  EDGE LENGTH: 9.82mm                  NOSE RADIUS: 0.8mm                  CROSS SECTION: T                  TOLERANCE: M                  RELIEF: N 0deg                  COMPENSATION: Tip tangent                  DESCRIPTION: CNMT Right Hand</p>	<p>TOOL ORIENTATION IN TURRET: Radial                  MINIMUM Z: -1mm                  MAXIMUM FEED: 635mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5000rpm                  CUTTING DISTANCE: 40.84mm                  RAPID DISTANCE: 66.01mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 25s (1%)</p>	<p>HOLDER: ISO L Right</p>	
<p><b>T99 D99 L99</b>                  TYPE: drill LIVE                  DIAMETER: 19.05mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 193.04mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 3/4</p>	<p>MINIMUM Z: -17.72mm                  MAXIMUM FEED: 736.6mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 1530rpm                  CUTTING DISTANCE: 22.1mm                  RAPID DISTANCE: 130.5mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 3s (0.1%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35                  COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35                  VENDOR: Maritool                  PRODUCT: CAT40-ER32-2.35</p>	

Operations			
<p>Operation 1/20                  DESCRIPTION: Face1                  STRATEGY: Turning Face                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 5mm                  MINIMUM Z: -1mm                  SURFACE SPEED: 91m/min                  FEEDRATE PER REV: 0.127mm                  CUTTING DISTANCE: 40.84mm                  RAPID DISTANCE: 66.01mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 25s (1%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T98 D0</b>                  TYPE: general turning                  INSERT: ISO C 80deg                  EDGE LENGTH: 9.82mm                  NOSE RADIUS: 0.8mm                  CROSS SECTION: T                  TOLERANCE: M                  RELIEF: N 0deg                  COMPENSATION: Tip tangent                  DESCRIPTION: CNMT Right Hand</p>	
<p>Operation 2/20                  DESCRIPTION: Drill7                  STRATEGY: Drilling                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                  MINIMUM Z: -17.72mm                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 1530rpm                  MAXIMUM FEEDRATE: 736.6mm/min                  CUTTING DISTANCE: 22.1mm                  RAPID DISTANCE: 130.5mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 3s (0.1%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T99 D99 L99</b>                  TYPE: drill LIVE                  DIAMETER: 19.05mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 193.04mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 3/4</p>	

5/7/24, 6:41 PM



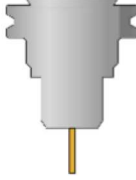
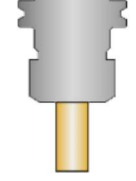

Setup Sheet for Program 1001

<p>Operation 3/20  <b>DESCRIPTION:</b> Profile Roughing1  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>MAXIMUM STEPOVER:</b> 1.2mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 5mm  <b>MINIMUM Z:</b> -12.8mm  <b>SURFACE SPEED:</b> 91m/min  <b>FEEDRATE PER REV:</b> 0.127mm  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 135.07mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 162.98mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 55s (2.3%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T97 D0</b>  <b>TYPE:</b> boring turning  <b>INSERT:</b> ISO C 80deg  <b>EDGE LENGTH:</b> 9.82mm  <b>NOSE RADIUS:</b> 0.8mm  <b>CROSS SECTION:</b> T  <b>TOLERANCE:</b> M  <b>RELIEF:</b> N 0deg  <b>COMPENSATION:</b> Tip tangent  <b>DESCRIPTION:</b> ID Boring</p>	
<p>Operation 4/20  <b>DESCRIPTION:</b> Thread1  <b>STRATEGY:</b> Turning Thread  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 6.5mm  <b>MINIMUM Z:</b> -12mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 500rpm  <b>FEEDRATE PER REV:</b> 1mm  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 93.74mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 108.37mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 1s (0.1%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T96 D0</b>  <b>TYPE:</b> thread turning  <b>INSERT:</b> ISO triple  <b>COMPENSATION:</b> Tip tangent  <b>DESCRIPTION:</b> ID Boring</p>	
<p>Operation 5/20  <b>DESCRIPTION:</b> Pocket1  <b>STRATEGY:</b> Pocket  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0.5mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 1mm  <b>MAXIMUM STEPOVER:</b> 2.85mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -13.38mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 8100rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 740.664mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 595.87mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 41.08mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 49s (2%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T13 D13 L13</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 3mm  <b>LENGTH:</b> 22mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3mm Flat Endmill</p>	
<p>Operation 6/20  <b>DESCRIPTION:</b> Drill3  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -44.63mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 6670rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 736.6mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 41.5mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 1392.76mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 20s (0.8%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T14 D14 L14</b>  <b>TYPE:</b> drill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 4.37mm  <b>TIP ANGLE:</b> 118°  <b>LENGTH:</b> 46.2mm  <b>FLUTES:</b> 1  <b>DESCRIPTION:</b> 11/64</p>	
<p>Operation 7/20  <b>DESCRIPTION:</b> Drill3 (2)  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -30.53mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 6670rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 736.6mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 25.28mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 446.04mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 7s (0.3%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T16 D16 L16</b>  <b>TYPE:</b> drill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 5.5mm  <b>TIP ANGLE:</b> 118°  <b>LENGTH:</b> 46.2mm  <b>FLUTES:</b> 1  <b>DESCRIPTION:</b> 5.5mm</p>	
<p>Operation 8/20  <b>DESCRIPTION:</b> Drill3 (3)  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -25.58mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 6670rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 736.6mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 26.54mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 347.13mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 6s (0.3%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T3 D3 L3</b>  <b>TYPE:</b> drill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 9mm  <b>TIP ANGLE:</b> 118°  <b>LENGTH:</b> 46.2mm  <b>FLUTES:</b> 1  <b>DESCRIPTION:</b> 5.5mm</p>	



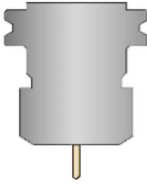
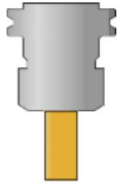
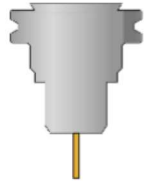
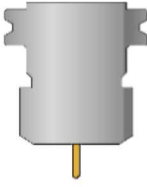
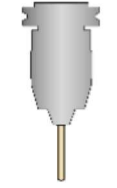
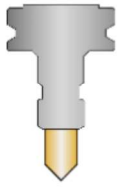
5/7/24, 6:41 PM

Setup Sheet for Program 1001

<p>Operation 9/20  <b>DESCRIPTION:</b> 2D Pocket1  <b>STRATEGY:</b> Pocket 2D  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> -0.4mm/0mm  <b>MAXIMUM STEPOVER:</b> 0.95mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -0.32mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 8100rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 740.664mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 106.83mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 25.22mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 14s (0.6%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T12 D12 L12</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 1mm  <b>LENGTH:</b> 22mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3mm Flat Endmill</p>	
<p>Operation 10/20  <b>DESCRIPTION:</b> Adaptive1  <b>STRATEGY:</b> Adaptive  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 2mm  <b>OPTIMAL LOAD:</b> 7.62mm  <b>LOAD DEVIATION:</b> 0.76mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 47.46mm  <b>MINIMUM Z:</b> 25mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 5090rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 2336.8mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 334mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 187.27mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 11s (0.4%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T10 D10 L10</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 19.05mm  <b>LENGTH:</b> 40.64mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>DESCRIPTION:</b> 3/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 11/20  <b>DESCRIPTION:</b> Adaptive2  <b>STRATEGY:</b> Adaptive  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0.5mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 2mm  <b>OPTIMAL LOAD:</b> 1.2mm  <b>LOAD DEVIATION:</b> 0.12mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 47.46mm  <b>MINIMUM Z:</b> 22.6mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 8100rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 740.664mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 970.23mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 1270.47mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 1m:34s (3.8%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T13 D13 L13</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 3mm  <b>LENGTH:</b> 22mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3mm Flat Endmill</p>	
<p>Operation 12/20  <b>DESCRIPTION:</b> Contour1  <b>STRATEGY:</b> Contour  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 0.05mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 47.46mm  <b>MINIMUM Z:</b> 22mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 10000rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 762mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 6992.61mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 217.49mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 9m:13s (22.6%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T17 D17 L17</b>  <b>TYPE:</b> ball end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 3.17mm  <b>CORNER RADIUS:</b> 1.59mm  <b>LENGTH:</b> 15.24mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>DESCRIPTION:</b> 1/8" Ball Endmill</p>	
<p>Operation 13/20  <b>DESCRIPTION:</b> Adaptive1 (2)  <b>STRATEGY:</b> Adaptive  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 2mm  <b>OPTIMAL LOAD:</b> 7.62mm  <b>LOAD DEVIATION:</b> 0.76mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 47.46mm  <b>MINIMUM Z:</b> 25mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 5090rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 2336.8mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 334mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 187.27mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 11s (0.4%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T10 D10 L10</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 19.05mm  <b>LENGTH:</b> 40.64mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>DESCRIPTION:</b> 3/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 14/20  <b>DESCRIPTION:</b> Adaptive2 (2)  <b>STRATEGY:</b> Adaptive  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0.5mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 2mm  <b>OPTIMAL LOAD:</b> 1.2mm  <b>LOAD DEVIATION:</b> 0.12mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 47.46mm  <b>MINIMUM Z:</b> 22.6mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 8100rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 740.664mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 971.08mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 1269.81mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 1m:34s (3.8%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T13 D13 L13</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 3mm  <b>LENGTH:</b> 22mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3mm Flat Endmill</p>	

5/7/24, 6:41 PM

Setup Sheet for Program 1001

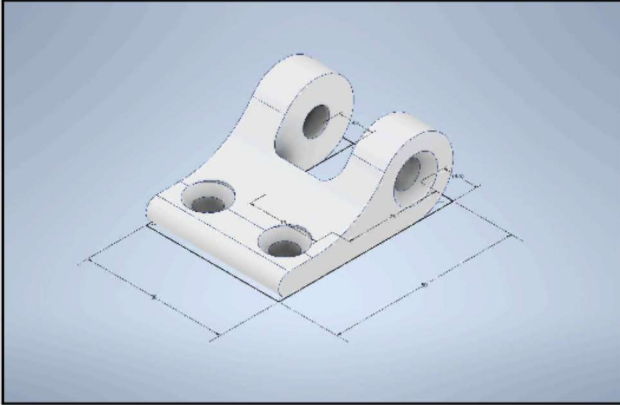
<p>Operation 15/20  <b>DESCRIPTION:</b> Contour1 (2)  <b>STRATEGY:</b> Contour  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 0.05mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 47.46mm  <b>MINIMUM Z:</b> 22mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 10000rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 762mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 6707.18mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 283.94mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 8m:52s (21.8%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T17 D17 L17</b>  <b>TYPE:</b> ball end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 3.17mm  <b>CORNER RADIUS:</b> 1.59mm  <b>LENGTH:</b> 15.24mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>DESCRIPTION:</b> 1/8" Ball Endmill</p>	
<p>Operation 16/20  <b>DESCRIPTION:</b> Adaptive1 (3)  <b>STRATEGY:</b> Adaptive  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 2mm  <b>OPTIMAL LOAD:</b> 7.62mm  <b>LOAD DEVIATION:</b> 0.76mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 47.46mm  <b>MINIMUM Z:</b> 25mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 5090rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 2336.8mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 334mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 187.27mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 11s (0.4%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T10 D10 L10</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 19.05mm  <b>LENGTH:</b> 40.64mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>DESCRIPTION:</b> 3/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 17/20  <b>DESCRIPTION:</b> Adaptive2 (3)  <b>STRATEGY:</b> Adaptive  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0.5mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 2mm  <b>OPTIMAL LOAD:</b> 1.2mm  <b>LOAD DEVIATION:</b> 0.12mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 47.46mm  <b>MINIMUM Z:</b> 22.6mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 8100rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 740.664mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 974.45mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 1241.64mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 1m:34s (3.8%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T13 D13 L13</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 3mm  <b>LENGTH:</b> 22mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3mm Flat Endmill</p>	
<p>Operation 18/20  <b>DESCRIPTION:</b> Contour1 (3)  <b>STRATEGY:</b> Contour  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 0.05mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 47.46mm  <b>MINIMUM Z:</b> 22mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 10000rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 762mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 6730.6mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 261.94mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 8m:53s (21.8%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T17 D17 L17</b>  <b>TYPE:</b> ball end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 3.17mm  <b>CORNER RADIUS:</b> 1.59mm  <b>LENGTH:</b> 15.24mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>DESCRIPTION:</b> 1/8" Ball Endmill</p>	
<p>Operation 19/20  <b>DESCRIPTION:</b> Drill5  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -14.65mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 6670rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 736.6mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 83.61mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 1206.61mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 21s (0.9%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T16 D16 L16</b>  <b>TYPE:</b> drill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 5.5mm  <b>TIP ANGLE:</b> 118°  <b>LENGTH:</b> 46.2mm  <b>FLUTES:</b> 1  <b>DESCRIPTION:</b> 5.5mm</p>	
<p>Operation 20/20  <b>DESCRIPTION:</b> Drill5 (2)  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -6mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 4000rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 500mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 44.5mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 249.5mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 8s (0.3%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T15 D15 L15</b>  <b>TYPE:</b> countersink LIVE  <b>DIAMETER:</b> 19mm  <b>TIP ANGLE:</b> 90°  <b>LENGTH:</b> 30mm  <b>FLUTES:</b> 3</p>	

Generated by [Inventor CAM Ultimate 11.0.0.21457](#) Tuesday, May 07, 2024 18:41:08

### Setup Sheet for Program 1001

JOB DESCRIPTION: Setup2

DOCUMENT PATH: C:\Users\mateo\OneDrive - Universidad San Francisco de Quito\ Documentos\Semesters\TESIS\Diseño Inventor\Tesis\anchor\_damper.ipt

Setup	
<p>WCS: #0</p> <p>Stock: DX: 51mm DY: 53mm DZ: 44mm</p> <p>PART: DX: 50mm DY: 21.5mm DZ: 38mm</p> <p>Stock Lower in WCS #0: X: -25.5mm Y: -26.5mm Z: -44mm</p> <p>Stock Upper in WCS #0: X: 25.5mm Y: 26.5mm Z: 0mm</p>	

Total
<p>NUMBER OF OPERATIONS: 7</p> <p>NUMBER OF TOOLS: 5</p> <p>TOOLS: T10 T11 T15 T18 T19</p> <p>MAXIMUM Z: 16.5mm</p> <p>MINIMUM Z: -41.88mm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 1397.1mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7639rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 9582.57mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 2049.44mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 9m:40s</p>



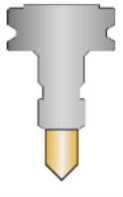
Tools			
<p><b>T10 D10 L10</b></p> <p>Type: face mill</p> <p>DIAMETER: 50mm</p> <p>LENGTH: 50mm</p> <p>FLUTES: 4</p>	<p>MINIMUM Z: 0mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 460mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 955rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 125.71mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 20mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 17s (2.9%)</p>	<p>HOLDER: BT40 - B4C3-0040</p>	
<p><b>T11 D11 L11</b></p> <p>Type: flat end mill</p> <p>DIAMETER: 6.35mm</p> <p>LENGTH: 40mm</p> <p>FLUTES: 4</p> <p>DESCRIPTION: 1/4" Flat Endmill</p>	<p>MINIMUM Z: -39.5mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 1397.1mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7639rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 9348.75mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 342.75mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 7m:8s (73.8%)</p>	<p>HOLDER: UBERCHUCK APC-14 - 7.05" GL</p> <p>COMMENT: 1/8" - 9/16" Collets Type C</p> <p>VENDOR: ALBRECHT</p> <p>PRODUCT: 74312</p>	

4/22/24, 4:15 PM

Setup Sheet for Program 1001

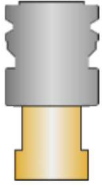


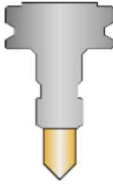
<p><b>T15 D15 L15</b>                  TYPE: countersink                  DIAMETER: 19mm                  TIP ANGLE: 90°                  LENGTH: 30mm                  FLUTES: 3</p>	<p>MINIMUM Z: -21mm                  MAXIMUM FEED: 500mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4000rpm                  CUTTING DISTANCE: 33.68mm                  RAPID DISTANCE: 214.43mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 7s (1.1%)</p>	<p>HOLDER: BT40 - B4C4-0016</p>	
<p><b>T18 D18 L18</b>                  TYPE: drill                  DIAMETER: 7.94mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 81.91mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 5/16</p>	<p>MINIMUM Z: -41.88mm                  MAXIMUM FEED: 736.6mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3973rpm                  CUTTING DISTANCE: 50.01mm                  RAPID DISTANCE: 1193.54mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 18s (3.2%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck                  COMMENT: Maritool CAT40-APU13                  VENDOR: Maritool                  PRODUCT: CAT40-APU13</p>	
<p><b>T19 D19 L19</b>                  TYPE: drill                  DIAMETER: 6.35mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 66.04mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 1/4</p>	<p>MINIMUM Z: -24.41mm                  MAXIMUM FEED: 736.6mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4580rpm                  CUTTING DISTANCE: 24.42mm                  RAPID DISTANCE: 278.72mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 5s (0.9%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck                  COMMENT: Maritool CAT40-APU13                  VENDOR: Maritool                  PRODUCT: CAT40-APU13</p>	

**Operations**

<p>Operation 1/7                  DESCRIPTION: Adaptive3                  STRATEGY: Adaptive                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.1mm                  STOCK TO LEAVE: 0mm                  MAXIMUM STEPDOWN: 10mm                  OPTIMAL LOAD: 2.54mm                  LOAD DEVIATION: 0.25mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                  MINIMUM Z: -39.5mm                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7639rpm                  MAXIMUM FEEDRATE: 1397.1mm/min                  CUTTING DISTANCE: 6442.78mm                  RAPID DISTANCE: 77.59mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 4m:38s (47.9%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>                  TYPE: flat end mill                  DIAMETER: 6.35mm                  LENGTH: 40mm                  FLUTES: 4                  DESCRIPTION: 1/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 2/7                  DESCRIPTION: Drill3                  STRATEGY: Drilling                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 16.5mm                  MINIMUM Z: -41.88mm                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3973rpm                  MAXIMUM FEEDRATE: 736.6mm/min                  CUTTING DISTANCE: 50.01mm                  RAPID DISTANCE: 1193.54mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 18s (3.2%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T18 D18 L18</b>                  TYPE: drill                  DIAMETER: 7.94mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 81.91mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 5/16</p>	
<p>Operation 3/7                  DESCRIPTION: Drill3 (2)                  STRATEGY: Drilling                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                  MINIMUM Z: -6.8mm                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4000rpm                  MAXIMUM FEEDRATE: 500mm/min                  CUTTING DISTANCE: 12.43mm                  RAPID DISTANCE: 50.68mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 2s (0.4%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T15 D15 L15</b>                  TYPE: countersink                  DIAMETER: 19mm                  TIP ANGLE: 90°                  LENGTH: 30mm                  FLUTES: 3</p>	

4/22/24, 4:15 PM

Setup Sheet for Program 1001

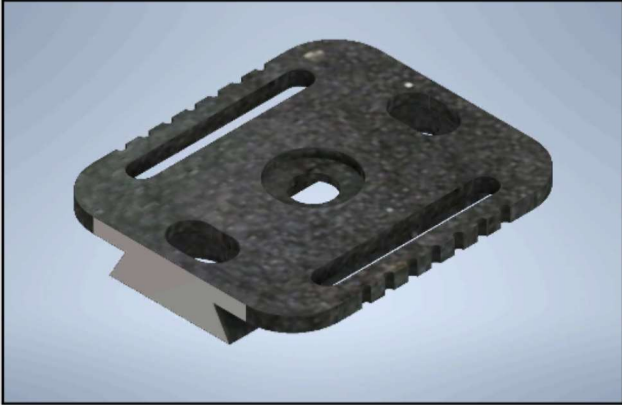
<p>Operation 4/7  <b>DESCRIPTION:</b> Face1  <b>STRATEGY:</b> Facing  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>MAXIMUM STEPOVER:</b> 47.5mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> 0mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 955rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 460mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 125.71mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 20mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 17s (2.9%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T10 D10 L10</b>  <b>TYPE:</b> face mill  <b>DIAMETER:</b> 50mm  <b>LENGTH:</b> 50mm  <b>FLUTES:</b> 4</p>	
<p>Operation 5/7  <b>DESCRIPTION:</b> Adaptive1  <b>STRATEGY:</b> Adaptive  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 10mm  <b>OPTIMAL LOAD:</b> 2.54mm  <b>LOAD DEVIATION:</b> 0.25mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -22.5mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 7639rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 1397.1mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 2905.98mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 265.17mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 2m:30s (25.9%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill  <b>DIAMETER:</b> 6.35mm  <b>LENGTH:</b> 40mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 1/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 6/7  <b>DESCRIPTION:</b> Drill1  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -24.41mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 4580rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 736.6mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 24.42mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 278.72mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 5s (0.9%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T19 D19 L19</b>  <b>TYPE:</b> drill  <b>DIAMETER:</b> 6.35mm  <b>TIP ANGLE:</b> 118°  <b>LENGTH:</b> 66.04mm  <b>FLUTES:</b> 1  <b>DESCRIPTION:</b> 1/4</p>	
<p>Operation 7/7  <b>DESCRIPTION:</b> Drill2  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -21mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 4000rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 500mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 21.25mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 163.75mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 5s (0.8%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T15 D15 L15</b>  <b>TYPE:</b> countersink  <b>DIAMETER:</b> 19mm  <b>TIP ANGLE:</b> 90°  <b>LENGTH:</b> 30mm  <b>FLUTES:</b> 3</p>	

Generated by [Inventor CAM Ultimate 11.0.0.21457](#) Monday, April 22, 2024 16:15:53

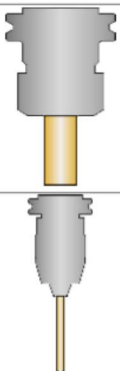
### Setup Sheet for Program 1001

JOB DESCRIPTION: Empate

DOCUMENT PATH: C:\Users\mateo\OneDrive - Universidad San Francisco de Quito\ Documentos\Semesters\TESIS\Diseño Inventor\Tesis\basepiramide.ipt

Setup	
<p><b>WCS: #0</b></p> <p><b>Stock:</b> DX: 66mm DY: 57mm DZ: 10.18mm</p> <p><b>PART:</b> DX: 62mm DY: 53mm DZ: 9.18mm</p> <p><b>Stock Lower in WCS #0:</b> X: -33mm Y: -28.5mm Z: -10.18mm</p> <p><b>Stock Upper in WCS #0:</b> X: 33mm Y: 28.5mm Z: 0mm</p>	

Total
<p>NUMBER OF OPERATIONS: 12</p> <p>NUMBER OF TOOLS: 6</p> <p>TOOLS: T1 T2 T3 T5 T11 T15</p> <p>MAXIMUM Z: 15mm</p> <p>MINIMUM Z: -12.44mm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 2336.8mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 10000rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 9832.55mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 2770.68mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 10m:27s</p>

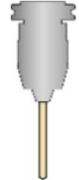

Tools			
<p><b>T1 D1 L1</b></p> <p>TYPE: flat end mill</p> <p>DIAMETER: 19.05mm</p> <p>LENGTH: 40.64mm</p> <p>FLUTES: 3</p> <p>DESCRIPTION: 3/4" Flat Endmill</p>	<p>MINIMUM Z: -6.18mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 2336.8mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5090rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 5537.37mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 316.78mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 2m:32s (24.2%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35</p> <p>COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35</p> <p>VENDOR: Maritool</p> <p>PRODUCT: CAT40-ER32-2.35</p>	
<p><b>T2 D2 L2</b></p> <p>TYPE: drill</p> <p>DIAMETER: 7.54mm</p> <p>TIP ANGLE: 118°</p> <p>LENGTH: 77.95mm</p> <p>FLUTES: 1</p> <p>DESCRIPTION: 19/64</p>	<p>MINIMUM Z: -12.44mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 736.6mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3860rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 49.45mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 508.1mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 10s (1.6%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck</p> <p>COMMENT: Maritool CAT40-APU13</p> <p>VENDOR: Maritool</p> <p>PRODUCT: CAT40-APU13</p>	

5/7/24, 6:47 PM

Setup Sheet for Program 1001

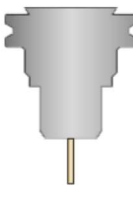
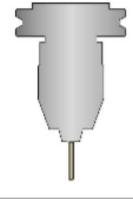
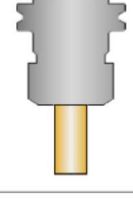
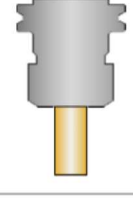
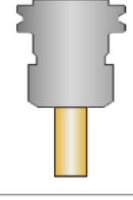
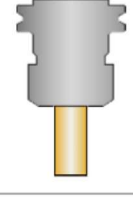
<p><b>T3 D3 L3</b>                  TYPE: flat end mill                  DIAMETER: 6.35mm                  LENGTH: 21.59mm                  FLUTES: 3                  DESCRIPTION: 1/4" Flat Endmill</p>	<p>MINIMUM Z: -10.18mm                  MAXIMUM FEED: 1524mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 10000rpm                  CUTTING DISTANCE: 1988.97mm                  RAPID DISTANCE: 271.19mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:22s (13%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35                  COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35                  VENDOR: Maritool                  PRODUCT: CAT40-ER32-2.35</p>	
<p><b>T5 D5 L5</b>                  TYPE: drill                  DIAMETER: 1.98mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 22.38mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 5/64</p>	<p>MINIMUM Z: -4.17mm                  MAXIMUM FEED: 495.3mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 10000rpm                  CUTTING DISTANCE: 114.45mm                  RAPID DISTANCE: 275.45mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 17s (2.7%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-APU08 Drill Chuck                  COMMENT: Maritool CAT40-APU08                  VENDOR: Maritool                  PRODUCT: CAT40-APU08</p>	
<p><b>T11 D11 L11</b>                  TYPE: flat end mill                  DIAMETER: 3mm                  LENGTH: 22mm                  FLUTES: 4                  DESCRIPTION: 3mm Flat Endmill</p>	<p>MINIMUM Z: -6mm                  MAXIMUM FEED: 740.664mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8100rpm                  CUTTING DISTANCE: 775.44mm                  RAPID DISTANCE: 108.79mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:34s (15%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35                  COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35                  VENDOR: Maritool                  PRODUCT: CAT40-ER32-2.35</p>	
<p><b>T15 D15 L15</b>                  TYPE: dovetail mill                  DIAMETER: 25mm                  CORNER RADIUS: 0.4mm                  TAPER ANGLE: 30°                  LENGTH: 76.2mm                  FLUTES: 3                  VENDOR: HAAS                  PRODUCT: 01-0518</p>	<p>MINIMUM Z: -6mm                  MAXIMUM FEED: 600mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5029rpm                  CUTTING DISTANCE: 1366.87mm                  RAPID DISTANCE: 1290.37mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 2m:32s (24.3%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35                  COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35                  VENDOR: Maritool                  PRODUCT: CAT40-ER32-2.35</p>	

**Operations**

<p>Operation 1/12                  DESCRIPTION: Drill1 (2)                  STRATEGY: Drilling                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                  MINIMUM Z: -12.44mm                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3860rpm                  MAXIMUM FEEDRATE: 736.6mm/min                  CUTTING DISTANCE: 49.45mm                  RAPID DISTANCE: 508.1mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 10s (1.6%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T2 D2 L2</b>                  TYPE: drill                  DIAMETER: 7.54mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 77.95mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 19/64</p> 
<p>Operation 2/12                  DESCRIPTION: Pocket1 (2)                  STRATEGY: Pocket                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.1mm                  STOCK TO LEAVE: 0mm                  MAXIMUM STEPDOWN: 1mm                  MAXIMUM STEPOVER: 6.03mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                  MINIMUM Z: -10.18mm                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 10000rpm                  MAXIMUM FEEDRATE: 1524mm/min                  CUTTING DISTANCE: 605.2mm                  RAPID DISTANCE: 143.98mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 26s (4.1%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T3 D3 L3</b>                  TYPE: flat end mill                  DIAMETER: 6.35mm                  LENGTH: 21.59mm                  FLUTES: 3                  DESCRIPTION: 1/4" Flat Endmill</p> 

5/7/24, 6:47 PM

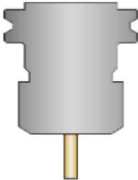
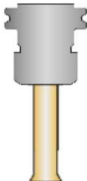
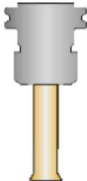
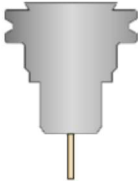
Setup Sheet for Program 1001

<p>Operation 3/12  <b>DESCRIPTION:</b> 2D Pocket1  <b>STRATEGY:</b> Pocket 2D  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPOVER:</b> 2.85mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -4.18mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 8100rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 740.664mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 537.35mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 78.09mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 54s (8.6%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill  <b>DIAMETER:</b> 3mm  <b>LENGTH:</b> 22mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3mm Flat Endmill</p>	
<p>Operation 4/12  <b>DESCRIPTION:</b> Drill2  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -4.17mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 10000rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 495.3mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 114.45mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 275.45mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 17s (2.7%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T5 D5 L5</b>  <b>TYPE:</b> drill  <b>DIAMETER:</b> 1.98mm  <b>TIP ANGLE:</b> 118°  <b>LENGTH:</b> 22.38mm  <b>FLUTES:</b> 1  <b>DESCRIPTION:</b> 5/64</p>	
<p>Operation 5/12  <b>DESCRIPTION:</b> 2D Contour1  <b>STRATEGY:</b> Contour 2D  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0.4mm/0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 0.8mm  <b>MAXIMUM STEPOVER:</b> 18.1mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -6.18mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 5090rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 2336.8mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 2381.49mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 100.01mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 1m:5s (10.4%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T1 D1 L1</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill  <b>DIAMETER:</b> 19.05mm  <b>LENGTH:</b> 40.64mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>DESCRIPTION:</b> 3/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 6/12  <b>DESCRIPTION:</b> 2D Contour1 (3)  <b>STRATEGY:</b> Contour 2D  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0.4mm/0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 0.8mm  <b>MAXIMUM STEPOVER:</b> 18.1mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -6.18mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 5090rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 2336.8mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 2381.49mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 100.01mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 1m:5s (10.4%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T1 D1 L1</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill  <b>DIAMETER:</b> 19.05mm  <b>LENGTH:</b> 40.64mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>DESCRIPTION:</b> 3/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 7/12  <b>DESCRIPTION:</b> Face2  <b>STRATEGY:</b> Facing  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>MAXIMUM STEPOVER:</b> 18.1mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -1mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 5090rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 2336.8mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 351.84mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 24.1mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 10s (1.5%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T1 D1 L1</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill  <b>DIAMETER:</b> 19.05mm  <b>LENGTH:</b> 40.64mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>DESCRIPTION:</b> 3/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 8/12  <b>DESCRIPTION:</b> Adaptive1  <b>STRATEGY:</b> Adaptive  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0.5mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 10mm  <b>OPTIMAL LOAD:</b> 7.62mm  <b>LOAD DEVIATION:</b> 0.76mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -5.49mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 5090rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 2336.8mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 422.55mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 92.68mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 12s (1.9%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T1 D1 L1</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill  <b>DIAMETER:</b> 19.05mm  <b>LENGTH:</b> 40.64mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>DESCRIPTION:</b> 3/4" Flat Endmill</p>	



5/7/24, 6:47 PM

Setup Sheet for Program 1001

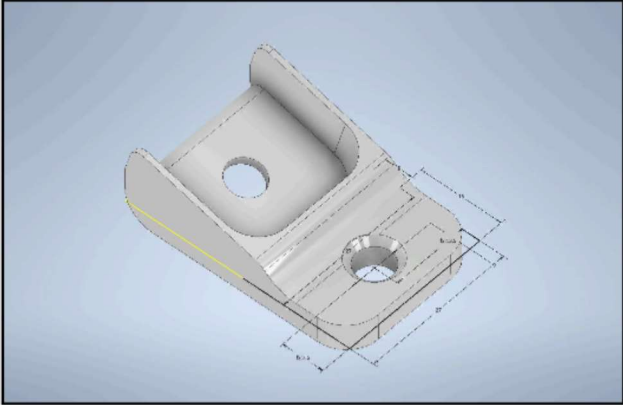
<p>Operation 9/12  <b>DESCRIPTION:</b> Pocket1  <b>STRATEGY:</b> Pocket  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 1mm  <b>MAXIMUM STEPOVER:</b> 6.03mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -5.65mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 10000rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 1524mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 1383.77mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 127.21mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 56s (8.9%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T3 D3 L3</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill  <b>DIAMETER:</b> 6.35mm  <b>LENGTH:</b> 21.59mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>DESCRIPTION:</b> 1/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 10/12  <b>DESCRIPTION:</b> Contour1  <b>STRATEGY:</b> Contour  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> -0.45mm/0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 1mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -6mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 5029rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 600mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 683.43mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 645.18mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 1m:16s (12.1%)  <b>COOLANT:</b> Off</p>	<p><b>T15 D15 L15</b>  <b>TYPE:</b> dovetail mill  <b>DIAMETER:</b> 25mm  <b>CORNER RADIUS:</b> 0.4mm  <b>TAPER ANGLE:</b> 30°  <b>LENGTH:</b> 76.2mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>VENDOR:</b> HAAS  <b>PRODUCT:</b> 01-0518</p>	
<p>Operation 11/12  <b>DESCRIPTION:</b> Contour1 (2)  <b>STRATEGY:</b> Contour  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> -0.45mm/0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 1mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -6mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 5029rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 600mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 683.43mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 645.18mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 1m:16s (12.1%)  <b>COOLANT:</b> Off</p>	<p><b>T15 D15 L15</b>  <b>TYPE:</b> dovetail mill  <b>DIAMETER:</b> 25mm  <b>CORNER RADIUS:</b> 0.4mm  <b>TAPER ANGLE:</b> 30°  <b>LENGTH:</b> 76.2mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>VENDOR:</b> HAAS  <b>PRODUCT:</b> 01-0518</p>	
<p>Operation 12/12  <b>DESCRIPTION:</b> 2D Contour1 (2)  <b>STRATEGY:</b> Contour 2D  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPOVER:</b> 2.85mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -6mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 8100rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 740.664mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 238.09mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 30.7mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 40s (6.4%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill  <b>DIAMETER:</b> 3mm  <b>LENGTH:</b> 22mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3mm Flat Endmill</p>	

Generated by [Inventor CAM Ultimate 11.0.0.21457](#) Tuesday, May 07, 2024 18:47:30

### Setup Sheet for Program 1001

JOB DESCRIPTION: Setup1 (2)

DOCUMENT PATH: C:\Users\mateo\OneDrive - Universidad San Francisco de Quito\ Documentos\Semesters\TESIS\Diseño Inventor\Tesis\fitting\_joint.ipt

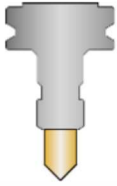


Setup	
<p><b>WCS: #0</b></p> <p><b>Stock:</b> DX: 80mm DY: 16mm DZ: 33mm</p> <p><b>PART:</b> DX: 42mm DY: 14.77mm DZ: 27mm</p> <p><b>Stock LOWER in WCS #0:</b> X: -80mm Y: -8mm Z: -33mm</p> <p><b>Stock UPPER in WCS #0:</b> X: 0mm Y: 8mm Z: 0mm</p>	

Total
<p><b>NUMBER OF OPERATIONS:</b> 8</p> <p><b>NUMBER OF TOOLS:</b> 5</p> <p><b>TOOLS:</b> T11 T13 T15 T17 T19</p> <p><b>MAXIMUM Z:</b> 24.88mm</p> <p><b>MINIMUM Z:</b> -29mm</p> <p><b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 1397.1mm/min</p> <p><b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 10000rpm</p> <p><b>CUTTING DISTANCE:</b> 6797.98mm</p> <p><b>RAPID DISTANCE:</b> 1103.77mm</p> <p><b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 8m:29s</p>




Tools		
<p><b>T11 D11 L11</b></p> <p>TYPE: flat end mill</p> <p>DIAMETER: 6.35mm</p> <p>LENGTH: 40mm</p> <p>FLUTES: 4</p> <p>DESCRIPTION: 1/4" Flat Endmill</p>	<p>MINIMUM Z: -29mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 1397.1mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7639rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 3961.47mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 266.16mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 3m:3s (36.1%)</p>	<p>HOLDER: UBERCHUCK APC-14 - 7.05" GL</p> <p>COMMENT: 1/8" - 9/16" Collets Type C</p> <p>VENDOR: ALBRECHT</p> <p>PRODUCT: 74312</p>
<p><b>T13 D13 L13</b></p> <p>TYPE: flat end mill</p> <p>DIAMETER: 3mm</p> <p>LENGTH: 22mm</p> <p>FLUTES: 4</p> <p>DESCRIPTION: 3mm Flat Endmill</p>	<p>MINIMUM Z: -3.96mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 740.664mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8100rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 413.89mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 43.68mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 35s (6.8%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35</p> <p>COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35</p> <p>VENDOR: Maritool</p> <p>PRODUCT: CAT40-ER32-2.35</p>

4/22/24, 4:15 PM

Setup Sheet for Program 1001



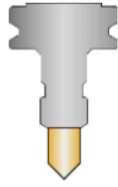
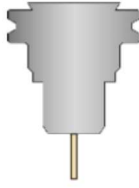

<b>T15 D15 L15</b> TYPE: countersink DIAMETER: 19mm TIP ANGLE: 90° LENGTH: 30mm FLUTES: 3			MINIMUM Z: -4.5mm MAXIMUM FEED: 500mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4000rpm CUTTING DISTANCE: 9.5mm RAPID DISTANCE: 49.27mm ESTIMATED CYCLE TIME: 2s (0.3%)	HOLDER: BT40 - B4C4-0016	
<b>T17 D17 L17</b> TYPE: ball end mill DIAMETER: 3.17mm CORNER RADIUS: 1.59mm LENGTH: 15.24mm FLUTES: 3 DESCRIPTION: 1/8" Ball Endmill			MINIMUM Z: -3.6mm MAXIMUM FEED: 762mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 10000rpm CUTTING DISTANCE: 2388.74mm RAPID DISTANCE: 508.68mm ESTIMATED CYCLE TIME: 3m:14s (38.2%)	HOLDER: UBERCHUCK APC-14 - 7.05" GL COMMENT: 1/8" - 9/16" Collets Type C VENDOR: ALBRECHT PRODUCT: 74312	
<b>T19 D19 L19</b> TYPE: drill DIAMETER: 6.35mm TIP ANGLE: 118° LENGTH: 66.04mm FLUTES: 1 DESCRIPTION: 1/4			MINIMUM Z: -10.63mm MAXIMUM FEED: 736.6mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4580rpm CUTTING DISTANCE: 24.37mm RAPID DISTANCE: 235.98mm ESTIMATED CYCLE TIME: 5s (0.9%)	HOLDER: Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck COMMENT: Maritool CAT40-APU13 VENDOR: Maritool PRODUCT: CAT40-APU13	

**Operations**

<b>Operation 1/8</b> DESCRIPTION: Adaptive3 STRATEGY: Adaptive WCS: #0 TOLERANCE: 0.1mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPDOWN: 10mm OPTIMAL LOAD: 2.54mm LOAD DEVIATION: 0.25mm			MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -29mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7639rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1397.1mm/min CUTTING DISTANCE: 2274.62mm RAPID DISTANCE: 67.09mm ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:38s (19.4%) COOLANT: Flood	<b>T11 D11 L11</b> TYPE: flat end mill DIAMETER: 6.35mm LENGTH: 40mm FLUTES: 4 DESCRIPTION: 1/4" Flat Endmill	
<b>Operation 2/8</b> DESCRIPTION: Face1 STRATEGY: Facing WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm MAXIMUM STEPOVER: 6.03mm			MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -1mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7639rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1397.1mm/min CUTTING DISTANCE: 160.45mm RAPID DISTANCE: 25.37mm ESTIMATED CYCLE TIME: 8s (1.5%) COOLANT: Flood	<b>T11 D11 L11</b> TYPE: flat end mill DIAMETER: 6.35mm LENGTH: 40mm FLUTES: 4 DESCRIPTION: 1/4" Flat Endmill	
<b>Operation 3/8</b> DESCRIPTION: Adaptive3 (2) STRATEGY: Adaptive WCS: #0 TOLERANCE: 0.1mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPDOWN: 10mm OPTIMAL LOAD: 2.54mm LOAD DEVIATION: 0.25mm			MAXIMUM Z: 24.88mm MINIMUM Z: -0.12mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7639rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1397.1mm/min CUTTING DISTANCE: 1526.4mm RAPID DISTANCE: 173.71mm ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:17s (15.1%) COOLANT: Flood	<b>T11 D11 L11</b> TYPE: flat end mill DIAMETER: 6.35mm LENGTH: 40mm FLUTES: 4 DESCRIPTION: 1/4" Flat Endmill	

4/22/24, 4:15 PM

Setup Sheet for Program 1001

<p>Operation 4/8  <b>DESCRIPTION:</b> Contour2  <b>STRATEGY:</b> Contour  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 0.3mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 24.88mm  <b>MINIMUM Z:</b> -3.6mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 10000rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 762mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 2388.74mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 508.68mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 3m:14s (38.2%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T17 D17 L17</b>  <b>TYPE:</b> ball end mill  <b>DIAMETER:</b> 3.17mm  <b>CORNER RADIUS:</b> 1.59mm  <b>LENGTH:</b> 15.24mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>DESCRIPTION:</b> 1/8" Ball Endmill</p>	
<p>Operation 5/8  <b>DESCRIPTION:</b> Drill2 (2)  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 24.88mm  <b>MINIMUM Z:</b> -7.91mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 4580rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 736.6mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 12.21mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 125.13mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 2s (0.5%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T19 D19 L19</b>  <b>TYPE:</b> drill  <b>DIAMETER:</b> 6.35mm  <b>TIP ANGLE:</b> 118°  <b>LENGTH:</b> 66.04mm  <b>FLUTES:</b> 1  <b>DESCRIPTION:</b> 1/4</p>	
<p>Operation 6/8  <b>DESCRIPTION:</b> Drill2 (3)  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 24.88mm  <b>MINIMUM Z:</b> -4.5mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 4000rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 500mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 9.5mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 49.27mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 2s (0.3%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T15 D15 L15</b>  <b>TYPE:</b> countersink  <b>DIAMETER:</b> 19mm  <b>TIP ANGLE:</b> 90°  <b>LENGTH:</b> 30mm  <b>FLUTES:</b> 3</p>	
<p>Operation 7/8  <b>DESCRIPTION:</b> Adaptive4  <b>STRATEGY:</b> Adaptive  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 10mm  <b>OPTIMAL LOAD:</b> 1.2mm  <b>LOAD DEVIATION:</b> 0.12mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -3.96mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 8100rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 740.664mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 413.89mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 43.68mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 35s (6.8%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T13 D13 L13</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill  <b>DIAMETER:</b> 3mm  <b>LENGTH:</b> 22mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3mm Flat Endmill</p>	
<p>Operation 8/8  <b>DESCRIPTION:</b> Drill2  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -10.63mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 4580rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 736.6mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 12.16mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 110.86mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 2s (0.5%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T19 D19 L19</b>  <b>TYPE:</b> drill  <b>DIAMETER:</b> 6.35mm  <b>TIP ANGLE:</b> 118°  <b>LENGTH:</b> 66.04mm  <b>FLUTES:</b> 1  <b>DESCRIPTION:</b> 1/4</p>	

Generated by [Inventor CAM Ultimate 11.0.0.21457](#) Monday, April 22, 2024 16:15:08

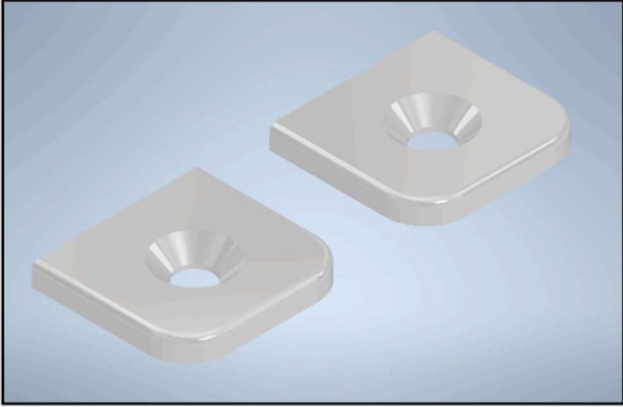
5/7/24, 6:43 PM

Setup Sheet for Program 1001


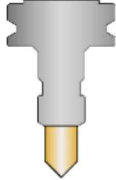
### Setup Sheet for Program 1001

JOB DESCRIPTION: Setup1

DOCUMENT PATH: C:\Users\mateo\OneDrive - Universidad San Francisco de Quito\ Documentos\Semesters\TESIS\Diseño Inventor\Tesis\lid\_joint\_cam.iam

Setup	
<p>WCS: #0</p> <p>STOCK: DX: 67mm DY: 50mm DZ: 6mm</p> <p>PART: DX: 60mm DY: 23mm DZ: 3.18mm</p> <p>STOCK LOWER IN WCS #0: X: -33.5mm Y: -25mm Z: -6mm</p> <p>STOCK UPPER IN WCS #0: X: 33.5mm Y: 25mm Z: 0mm</p>	

Total
<p>NUMBER OF OPERATIONS: 3</p> <p>NUMBER OF TOOLS: 3</p> <p>TOOLS: T11 T15 T18</p> <p>MAXIMUM Z: 15mm</p> <p>MINIMUM Z: -7.55mm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 1524mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7639rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 2136.59mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 566.2mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 2m:19s</p>

Tools		
<p><b>T11 D11 L11</b></p> <p>TYPE: flat end mill</p> <p>DIAMETER: 6.35mm</p> <p>LENGTH: 21.59mm</p> <p>FLUTES: 3</p> <p>DESCRIPTION: 1/4" Flat Endmill</p>	<p>MINIMUM Z: -3.17mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 1524mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7639rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 2088.59mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 75.81mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:23s (59.9%)</p>	<p>HOLDER: UBERCHUCK APC-14 - 7.05" GL</p> <p>COMMENT: 1/8" - 9/16" Collets Type C</p> <p>VENDOR: ALBRECHT</p> <p>PRODUCT: 74312</p> 
<p><b>T15 D15 L15</b></p> <p>TYPE: countersink</p> <p>DIAMETER: 19mm</p> <p>TIP ANGLE: 90°</p> <p>LENGTH: 30mm</p> <p>FLUTES: 3</p>	<p>MINIMUM Z: -5.2mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 500mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4000rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 21.65mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 234.15mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 5s (3.9%)</p>	<p>HOLDER: BT40 - B4C4-0016</p> 

5/7/24, 6:43 PM

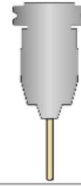
Setup Sheet for Program 1001

**T18 D18 L18**

TYPE: drill  
 DIAMETER: 5.16mm  
 TIP ANGLE: 118°  
 LENGTH: 54.13mm  
 FLUTES: 1  
 DESCRIPTION: 13/64

MINIMUM Z: -7.55mm  
 MAXIMUM FEED: 736.6mm/min  
 MAXIMUM SPINDLE SPEED: 6000rpm  
 CUTTING DISTANCE: 26.35mm  
 RAPID DISTANCE: 256.24mm  
 ESTIMATED CYCLE TIME: 5s (3.8%)

HOLDER: Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck  
 COMMENT: Maritool CAT40-APU13  
 VENDOR: Maritool  
 PRODUCT: CAT40-APU13



**Operations**

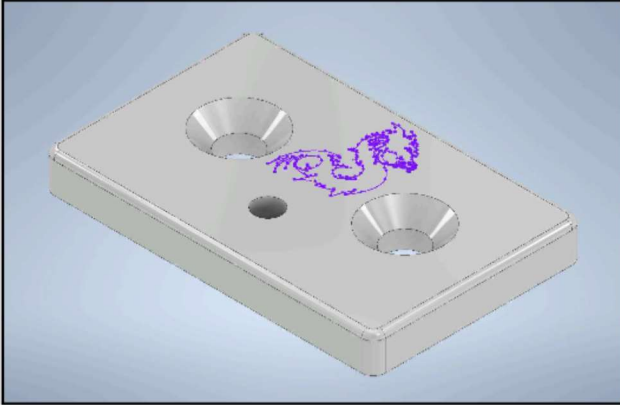
<p>Operation 1/3                  DESCRIPTION: Drill1                  STRATEGY: Drilling                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                  MINIMUM Z: -7.55mm                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 6000rpm                  MAXIMUM FEEDRATE: 736.6mm/min                  CUTTING DISTANCE: 26.35mm                  RAPID DISTANCE: 256.24mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 5s (3.8%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T18 D18 L18</b>                  TYPE: drill                  DIAMETER: 5.16mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 54.13mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 13/64</p>	
<p>Operation 2/3                  DESCRIPTION: Drill1 (2)                  STRATEGY: Drilling                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                  MINIMUM Z: -5.2mm                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4000rpm                  MAXIMUM FEEDRATE: 500mm/min                  CUTTING DISTANCE: 21.65mm                  RAPID DISTANCE: 234.15mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 5s (3.9%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T15 D15 L15</b>                  TYPE: countersink                  DIAMETER: 19mm                  TIP ANGLE: 90°                  LENGTH: 30mm                  FLUTES: 3</p>	
<p>Operation 3/3                  DESCRIPTION: Contour4 (2)                  STRATEGY: Contour                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.01mm                  STOCK TO LEAVE: 0mm                  MAXIMUM STEPDOWN: 0.5mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                  MINIMUM Z: -3.17mm                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7639rpm                  MAXIMUM FEEDRATE: 1524mm/min                  CUTTING DISTANCE: 2088.59mm                  RAPID DISTANCE: 75.81mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:23s (59.9%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>                  TYPE: flat end mill                  DIAMETER: 6.35mm                  LENGTH: 21.59mm                  FLUTES: 3                  DESCRIPTION: 1/4" Flat Endmill</p>	

Generated by [Inventor CAM Ultimate 11.0.0.21457](#) Tuesday, May 07, 2024 18:43:17

### Setup Sheet for Program 1001

JOB DESCRIPTION: Setup1

DOCUMENT PATH: C:\Users\mateo\OneDrive - Universidad San Francisco de Quito\ Documentos\Semesters\TESIS\Diseño Inventor\Tesis\lid\_top.ipt




Setup	
<p><b>WCS: #0</b></p> <p><b>Stock:</b> DX: 55mm DY: 35mm DZ: 6mm</p> <p><b>PART:</b> DX: 55mm DY: 35mm DZ: 6mm</p> <p><b>Stock Lower in WCS #0:</b> X: -27.5mm Y: -17.5mm Z: -6mm</p> <p><b>Stock Upper in WCS #0:</b> X: 27.5mm Y: 17.5mm Z: 0mm</p>	

Total
<p>NUMBER OF OPERATIONS: 5</p> <p>NUMBER OF TOOLS: 5</p> <p>TOOLS: T11 T12 T13 T14 T15</p> <p>MAXIMUM Z: 15mm</p> <p>MINIMUM Z: -8.91mm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 1009.017mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 9931rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 1356.58mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 624.02mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 4m:0s</p>

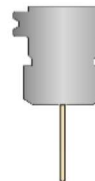
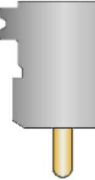
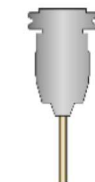
Tools			
<p><b>T11 D11 L11</b></p> <p>TYPE: chamfer mill</p> <p>DIAMETER: 3.17mm</p> <p>TAPER ANGLE: 30°</p> <p>LENGTH: 50.8mm</p> <p>FLUTES: 1</p>	<p>MINIMUM Z: -0.17mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 370.332mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8100rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 317.22mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 36.4mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:34s (39.2%)</p>	<p>HOLDER: Default Holder</p>	
<p><b>T12 D12 L12</b></p> <p>TYPE: ball end mill</p> <p>DIAMETER: 9.52mm</p> <p>CORNER RADIUS: 4.76mm</p> <p>LENGTH: 24.76mm</p> <p>FLUTES: 2</p> <p>DESCRIPTION: 3/8" Ball Endmill</p>	<p>MINIMUM Z: -1.5mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 1000mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7000rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 985.24mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 30.59mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 59s (24.8%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35</p> <p>COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35</p> <p>VENDOR: Maritool</p> <p>PRODUCT: CAT40-ER32-2.35</p>	

5/7/24, 6:33 PM

Setup Sheet for Program 1001

<p><b>T13 D13 L13</b>                  TYPE: drill                  DIAMETER: 6.35mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 66.04mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 1/4</p>	<p>MINIMUM Z: -8.91mm                  MAXIMUM FEED: 756.763mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4966rpm                  CUTTING DISTANCE: 22.57mm                  RAPID DISTANCE: 178.67mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 4s (1.6%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck                  COMMENT: Maritool CAT40-APU13                  VENDOR: Maritool                  PRODUCT: CAT40-APU13</p>	
<p><b>T14 D14 L14</b>                  TYPE: drill                  DIAMETER: 3.17mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 34.29mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 1/8</p>	<p>MINIMUM Z: -7.95mm                  MAXIMUM FEED: 1009.017mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 9931rpm                  CUTTING DISTANCE: 14.2mm                  RAPID DISTANCE: 219.02mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 3s (1.4%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-APU08 Drill Chuck                  COMMENT: Maritool CAT40-APU08                  VENDOR: Maritool                  PRODUCT: CAT40-APU08</p>	
<p><b>T15 D15 L15</b>                  TYPE: countersink                  DIAMETER: 19mm                  TIP ANGLE: 90°                  LENGTH: 30mm                  FLUTES: 3</p>	<p>MINIMUM Z: -6.3mm                  MAXIMUM FEED: 500mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4000rpm                  CUTTING DISTANCE: 17.35mm                  RAPID DISTANCE: 159.35mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 4s (1.7%)</p>	<p>HOLDER: BT40 - B4C4-0016</p>	

**Operations**

<p>Operation 1/5                  DESCRIPTION: Trace1                  STRATEGY: 3D Path                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.01mm                  STOCK TO LEAVE: 0mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                  MINIMUM Z: -0.17mm                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8100rpm                  MAXIMUM FEEDRATE: 370.332mm/min                  CUTTING DISTANCE: 317.22mm                  RAPID DISTANCE: 36.4mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:34s (39.2%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>                  TYPE: chamfer mill                  DIAMETER: 3.17mm                  TAPER ANGLE: 30°                  LENGTH: 50.8mm                  FLUTES: 1</p>	
<p>Operation 2/5                  DESCRIPTION: Contour4                  STRATEGY: Contour                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.01mm                  STOCK TO LEAVE: 0mm                  MAXIMUM STEPDOWN: 0.5mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                  MINIMUM Z: -1.5mm                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7000rpm                  MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min                  CUTTING DISTANCE: 985.24mm                  RAPID DISTANCE: 30.59mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 59s (24.8%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T12 D12 L12</b>                  TYPE: ball end mill                  DIAMETER: 9.52mm                  CORNER RADIUS: 4.76mm                  LENGTH: 24.76mm                  FLUTES: 2                  DESCRIPTION: 3/8" Ball Endmill</p>	
<p>Operation 3/5                  DESCRIPTION: Drill1                  STRATEGY: Drilling                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                  MINIMUM Z: -8.91mm                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4966rpm                  MAXIMUM FEEDRATE: 756.763mm/min                  CUTTING DISTANCE: 22.57mm                  RAPID DISTANCE: 178.67mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 4s (1.6%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T13 D13 L13</b>                  TYPE: drill                  DIAMETER: 6.35mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 66.04mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 1/4</p>	



5/7/24, 6:33 PM

Setup Sheet for Program 1001

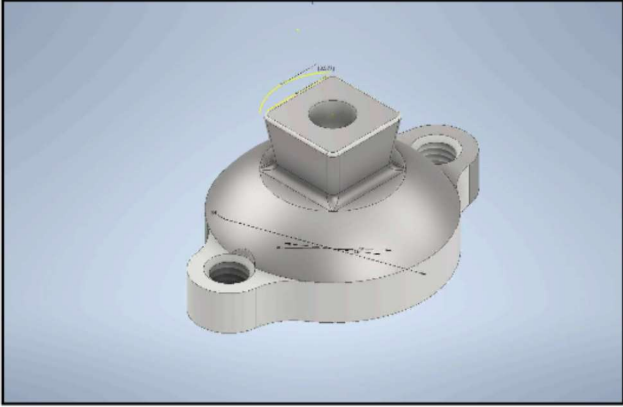
<p>Operation 4/5  <b>DESCRIPTION:</b> Drill2  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -7.95mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 9931rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 1009.017mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 14.2mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 219.02mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 3s (1.4%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T14 D14 L14</b>  <b>TYPE:</b> drill  <b>DIAMETER:</b> 3.17mm  <b>TIP ANGLE:</b> 118°  <b>LENGTH:</b> 34.29mm  <b>FLUTES:</b> 1  <b>DESCRIPTION:</b> 1/8</p>	
<p>Operation 5/5  <b>DESCRIPTION:</b> Drill1 (2)  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -6.3mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 4000rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 500mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 17.35mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 159.35mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 4s (1.7%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T15 D15 L15</b>  <b>TYPE:</b> countersink  <b>DIAMETER:</b> 19mm  <b>TIP ANGLE:</b> 90°  <b>LENGTH:</b> 30mm  <b>FLUTES:</b> 3</p>	

Generated by [Inventor CAM Ultimate 11.0.0.21457](#) Tuesday, May 07, 2024 18:33:13

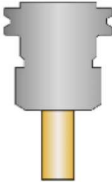
### Setup Sheet for Program 1001

JOB DESCRIPTION: Setup0

DOCUMENT PATH: C:\Users\mateo\OneDrive - Universidad San Francisco de Quito\ Documentos\Semesters\TESIS\Diseño Inventor\Tesis\piramide.ipt




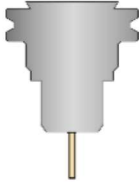
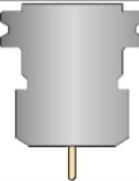
Setup	
<p><b>WCS: #0</b></p> <p><b>Stock:</b> DX: 63.5mm DY: 63.5mm DZ: 29mm</p> <p><b>PART:</b> DX: 62mm DY: 42mm DZ: 29mm</p> <p><b>Stock Lower in WCS #0:</b> X: -31.75mm Y: -31.75mm Z: -29mm</p> <p><b>Stock Upper in WCS #0:</b> X: 31.75mm Y: 31.75mm Z: 0mm</p>	

Total
<p>NUMBER OF OPERATIONS: 12</p> <p>NUMBER OF TOOLS: 6</p> <p>TOOLS: T1 T2 T4 T5 T11 T13</p> <p>MAXIMUM Z: 25mm</p> <p>MINIMUM Z: -31mm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 762mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 10000rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 15887.48mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 8141.88mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 29m:24s</p>

Tools			
<p><b>T1 D1 L1</b></p> <p>TYPE: flat end mill LIVE</p> <p>DIAMETER: 19.05mm</p> <p>LENGTH: 40.64mm</p> <p>FLUTES: 4</p> <p>DESCRIPTION: 3/4" Flat Endmill</p>	<p>MINIMUM Z: -28.49mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 762mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 1530rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 5208.39mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 1079.4mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 11m:33s (39.3%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35</p> <p>COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35</p> <p>VENDOR: Maritool</p> <p>PRODUCT: CAT40-ER32-2.35</p>	

5/7/24, 6:42 PM

Setup Sheet for Program 1001

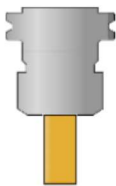

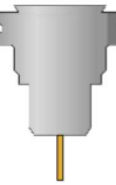


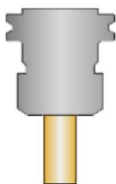
<p><b>T2 D0</b>                  TYPE: general turning                  INSERT: ISO C 80deg                  EDGE LENGTH: 9.82mm                  NOSE RADIUS: 0.8mm                  CROSS SECTION: T                  TOLERANCE: M                  RELIEF: N 0deg                  COMPENSATION: Tip tangent                  DESCRIPTION: CNMT Right Hand</p>	<p>TOOL ORIENTATION IN TURRET: Radial                  MINIMUM Z: 0.6mm                  MAXIMUM FEED: 0mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5000rpm                  CUTTING DISTANCE: 0mm                  RAPID DISTANCE: 142.54mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 2s (0.1%)</p>	<p>HOLDER: ISO L Right</p>	
<p><b>T4 D4 L4</b>                  TYPE: drill LIVE                  DIAMETER: 6.75mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 70.01mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 17/64</p>	<p>MINIMUM Z: -31mm                  MAXIMUM FEED: 736.6mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4310rpm                  CUTTING DISTANCE: 33.65mm                  RAPID DISTANCE: 444.04mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 8s (0.5%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck                  COMMENT: Maritool CAT40-APU13                  VENDOR: Maritool                  PRODUCT: CAT40-APU13</p>	
<p><b>T5 D5 L5</b>                  TYPE: drill LIVE                  DIAMETER: 8.5mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 85.88mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 8.5mm</p>	<p>MINIMUM Z: -21.52mm                  MAXIMUM FEED: 736.6mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3490rpm                  CUTTING DISTANCE: 19.05mm                  RAPID DISTANCE: 155.05mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 3s (0.2%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck                  COMMENT: Maritool CAT40-APU13                  VENDOR: Maritool                  PRODUCT: CAT40-APU13</p>	
<p><b>T11 D11 L11</b>                  TYPE: flat end mill LIVE                  DIAMETER: 3mm                  LENGTH: 22mm                  FLUTES: 4                  DESCRIPTION: 3mm Flat Endmill</p>	<p>MINIMUM Z: -19mm                  MAXIMUM FEED: 740.664mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8100rpm                  CUTTING DISTANCE: 9236.98mm                  RAPID DISTANCE: 6183.45mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 13m:47s (46.9%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35                  COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35                  VENDOR: Maritool                  PRODUCT: CAT40-ER32-2.35</p>	
<p><b>T13 D13 L13</b>                  TYPE: ball end mill LIVE                  DIAMETER: 3.17mm                  CORNER RADIUS: 1.59mm                  LENGTH: 15.24mm                  FLUTES: 3                  DESCRIPTION: 1/8" Ball Endmill</p>	<p>MINIMUM Z: -5.22mm                  MAXIMUM FEED: 762mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 10000rpm                  CUTTING DISTANCE: 1389.41mm                  RAPID DISTANCE: 137.42mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:51s (6.3%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35                  COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35                  VENDOR: Maritool                  PRODUCT: CAT40-ER32-2.35</p>	

Operations		
<p>Operation 1/12                  DESCRIPTION: Profile Roughing4                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.01mm                  MAXIMUM STEPOVER: 1.2mm                  COMPENSATION: control (center)                  SAFE TOOL DIAMETER: &lt; 0mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 5mm                  MINIMUM Z: 0.6mm                  SURFACE SPEED: 91m/min                  FEEDRATE PER REV: 0.127mm                  CUTTING DISTANCE: 0mm                  RAPID DISTANCE: 142.54mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 2s (0.1%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T2 D0</b>                  TYPE: general turning                  INSERT: ISO C 80deg                  EDGE LENGTH: 9.82mm                  NOSE RADIUS: 0.8mm                  CROSS SECTION: T                  TOLERANCE: M                  RELIEF: N 0deg                  COMPENSATION: Tip tangent                  DESCRIPTION: CNMT Right Hand</p>



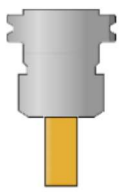
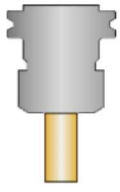
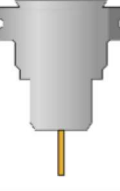

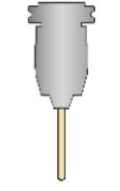
5/7/24, 6:42 PM

Setup Sheet for Program 1001

<p>Operation 2/12  <b>DESCRIPTION:</b> Face1  <b>STRATEGY:</b> Facing  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 0.8mm  <b>MAXIMUM STEPOVER:</b> 9mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 25mm  <b>MINIMUM Z:</b> -3.58mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 1530rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 762mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 404.95mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 143.43mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 52s (2.9%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T1 D1 L1</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 19.05mm  <b>LENGTH:</b> 40.64mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 3/12  <b>DESCRIPTION:</b> Adaptive2  <b>STRATEGY:</b> Adaptive  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 2mm  <b>OPTIMAL LOAD:</b> 0.3mm  <b>LOAD DEVIATION:</b> 0.03mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -6.77mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 8100rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 740.664mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 1495.48mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 1378.59mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 2m:18s (7.8%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 3mm  <b>LENGTH:</b> 22mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3mm Flat Endmill</p>	
<p>Operation 4/12  <b>DESCRIPTION:</b> Adaptive2 (2)  <b>STRATEGY:</b> Adaptive  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 2mm  <b>OPTIMAL LOAD:</b> 0.8mm  <b>LOAD DEVIATION:</b> 0.08mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -6.77mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 8100rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 740.664mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 1327.99mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 2355.62mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 2m:16s (7.7%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 3mm  <b>LENGTH:</b> 22mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3mm Flat Endmill</p>	
<p>Operation 5/12  <b>DESCRIPTION:</b> 2D Contour2  <b>STRATEGY:</b> Contour 2D  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 4mm  <b>MAXIMUM STEPOVER:</b> 0.2mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -12.44mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 8100rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 740.664mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 6107.64mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 2295.07mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 8m:42s (29.6%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 3mm  <b>LENGTH:</b> 22mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3mm Flat Endmill</p>	
<p>Operation 6/12  <b>DESCRIPTION:</b> Contour1  <b>STRATEGY:</b> Contour  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 0.05mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -5.22mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 10000rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 762mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 1389.41mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 137.42mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 1m:51s (6.3%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T13 D13 L13</b>  <b>TYPE:</b> ball end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 3.17mm  <b>CORNER RADIUS:</b> 1.59mm  <b>LENGTH:</b> 15.24mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>DESCRIPTION:</b> 1/8" Ball Endmill</p>	
<p>Operation 7/12  <b>DESCRIPTION:</b> Adaptive7  <b>STRATEGY:</b> Adaptive  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0.5mm/0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 10mm  <b>OPTIMAL LOAD:</b> 7.62mm  <b>LOAD DEVIATION:</b> 0.76mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -18.99mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 1530rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 457.2mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 2371.4mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 594.21mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 5m:18s (18%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T1 D1 L1</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 19.05mm  <b>LENGTH:</b> 40.64mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3/4" Flat Endmill</p>	

5/7/24, 6:42 PM

Setup Sheet for Program 1001

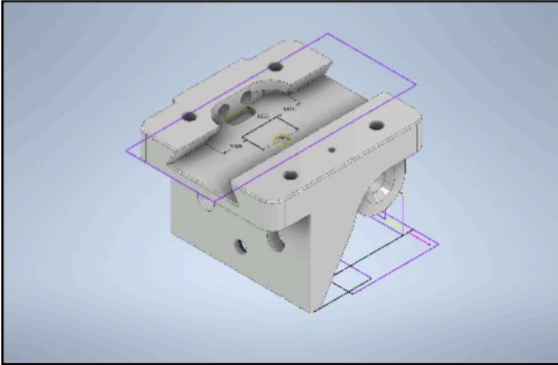
<p>Operation 8/12  <b>DESCRIPTION:</b> Adaptive6  <b>STRATEGY:</b> Adaptive  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0.5mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 10mm  <b>OPTIMAL LOAD:</b> 7.62mm  <b>LOAD DEVIATION:</b> 0.76mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -28.49mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 1530rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 457.2mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 410.02mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 264.75mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 57s (3.2%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T1 D1 L1</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 19.05mm  <b>LENGTH:</b> 40.64mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 9/12  <b>DESCRIPTION:</b> Contour3  <b>STRATEGY:</b> Contour  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 1mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -27mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 1530rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 457.2mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 2022.03mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 77mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 4m:26s (15.1%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T1 D1 L1</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 19.05mm  <b>LENGTH:</b> 40.64mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 10/12  <b>DESCRIPTION:</b> Contour4  <b>STRATEGY:</b> Contour  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 0.3mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -19mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 8100rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 740.664mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 305.86mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 154.16mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 31s (1.7%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 3mm  <b>LENGTH:</b> 22mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3mm Flat Endmill</p>	
<p>Operation 11/12  <b>DESCRIPTION:</b> Drill4  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -21.52mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 3490rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 736.6mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 19.05mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 155.05mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 3s (0.2%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T5 D5 L5</b>  <b>TYPE:</b> drill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 8.5mm  <b>TIP ANGLE:</b> 118°  <b>LENGTH:</b> 85.88mm  <b>FLUTES:</b> 1  <b>DESCRIPTION:</b> 8.5mm</p>	
<p>Operation 12/12  <b>DESCRIPTION:</b> Drill1  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 16mm  <b>MINIMUM Z:</b> -31mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 4310rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 736.6mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 33.65mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 444.04mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 8s (0.5%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T4 D4 L4</b>  <b>TYPE:</b> drill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 6.75mm  <b>TIP ANGLE:</b> 118°  <b>LENGTH:</b> 70.01mm  <b>FLUTES:</b> 1  <b>DESCRIPTION:</b> 17/64</p>	

Generated by [Inventor CAM Ultimate 11.0.0.21457](#) Tuesday, May 07, 2024 18:42:11

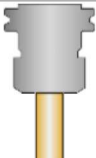
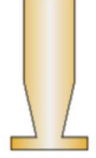
### Setup Sheet for Program 1001

JOB DESCRIPTION: Stock

DOCUMENT PATH: C:\Users\mateo\OneDrive - Universidad San Francisco de Quito\Documentos\Semesters\TESIS\Diseno Invenor\Tesis\basedeslizante.ipt


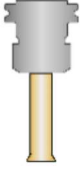
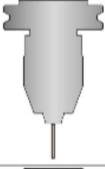
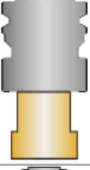


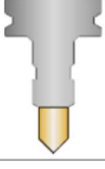
Setup	
<p>WCS: #0</p> <p>Stock: DX: 80mm DY: 80mm DZ: 50mm</p> <p>PART: DX: 57mm DY: 62mm DZ: 44mm</p> <p>STOCK LOWER IN WCS #0: X: -41mm Y: -56mm Z: -50mm</p> <p>STOCK UPPER IN WCS #0: X: 39mm Y: 24mm Z: 0mm</p>	

Total
<p>NUMBER OF OPERATIONS: 26</p> <p>NUMBER OF TOOLS: 11</p> <p>TOOLS: T1 T2 T3 T4 T7 T10 T11 T12 T15 T18 T19</p> <p>MAXIMUM Z: 155mm</p> <p>MINIMUM Z: -62.38mm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 2336.8mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 10000rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 80092.71mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 48914.63mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 1h:5m:28s</p>

Tools			
<p><b>T1 D1 L1</b></p> <p>TYPE: flat end mill</p> <p>DIAMETER: 19.05mm</p> <p>LENGTH: 50mm</p> <p>FLUTES: 3</p> <p>DESCRIPTION: 3/4" Flat Endmill</p>	<p>MINIMUM Z: -51.5mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 2336.8mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7223rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 40878.33mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 8939.02mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 19m:22s (29.6%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35</p> <p>COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35</p> <p>VENDOR: Maritool</p> <p>PRODUCT: CAT40-ER32-2.35</p>	
<p><b>T2 D2 L2</b></p> <p>TYPE: slot mill</p> <p>DIAMETER: 19.05mm</p> <p>LENGTH: 38.1mm</p> <p>FLUTES: 3</p>	<p>MINIMUM Z: -6.5mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 1000.001mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5000rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 54.39mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 20mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 5s (0.1%)</p>		

5/7/24, 6:45 PM


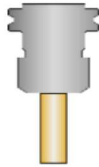


Setup Sheet for Program 1001

<p><b>T3 D3 L3</b>                      TYPE: probe                      DIAMETER: 8mm                      CORNER RADIUS: 4mm                      LENGTH: 104mm                      FLUTES: 1                      DESCRIPTION: Renishaw OMP60 8mm x 100mm                      COMMENT: Renishaw OMP60 8mm x 100mm                      VENDOR: Renishaw                      PRODUCT: OMP60_A-5000-7796</p>	<p>MINIMUM Z: 0mm                      MAXIMUM FEED: 0mm/min                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 0rpm                      CUTTING DISTANCE: 0mm                      RAPID DISTANCE: 0mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 0s (0%)</p>	<p>HOLDER: Renishaw OMP60</p>	
<p><b>T4 D4 L4</b>                      TYPE: dovetail mill                      DIAMETER: 25mm                      CORNER RADIUS: 0.4mm                      TAPER ANGLE: 30°                      LENGTH: 76.2mm                      FLUTES: 3                      VENDOR: HAAS                      PRODUCT: 01-0518</p>	<p>MINIMUM Z: -6.5mm                      MAXIMUM FEED: 2328mm/min                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 9700rpm                      CUTTING DISTANCE: 994.87mm                      RAPID DISTANCE: 264.71mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 2m:40s (4.1%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35                      COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35                      VENDOR: Maritool                      PRODUCT: CAT40-ER32-2.35</p>	
<p><b>T7 D7 L7</b>                      TYPE: drill                      DIAMETER: 2mm                      TIP ANGLE: 118°                      LENGTH: 22.38mm                      FLUTES: 1                      DESCRIPTION: 5/64</p>	<p>MINIMUM Z: -5mm                      MAXIMUM FEED: 495.3mm/min                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 10000rpm                      CUTTING DISTANCE: 11.13mm                      RAPID DISTANCE: 163.88mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 3s (0.1%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-APU08 Drill Chuck                      COMMENT: Maritool CAT40-APU08                      VENDOR: Maritool                      PRODUCT: CAT40-APU08</p>	
<p><b>T10 D10 L10</b>                      TYPE: face mill                      DIAMETER: 50mm                      LENGTH: 50mm                      FLUTES: 4</p>	<p>MINIMUM Z: 0mm                      MAXIMUM FEED: 460mm/min                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 955rpm                      CUTTING DISTANCE: 277.57mm                      RAPID DISTANCE: 20mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 36s (0.9%)</p>	<p>HOLDER: BT40 - B4C3-0040</p>	
<p><b>T11 D11 L11</b>                      TYPE: flat end mill                      DIAMETER: 6.35mm                      LENGTH: 40mm                      FLUTES: 4                      DESCRIPTION: 1/4" Flat Endmill</p>	<p>MINIMUM Z: -33.99mm                      MAXIMUM FEED: 1397.1mm/min                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8100rpm                      CUTTING DISTANCE: 33105.71mm                      RAPID DISTANCE: 31373.94mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 31m:31s (48.1%)</p>	<p>HOLDER: UBERCHUCK APC-14 - 7.05" GL                      COMMENT: 1/8" - 9/16" Collets Type C                      VENDOR: ALBRECHT                      PRODUCT: 74312</p>	
<p><b>T12 D12 L12</b>                      TYPE: ball end mill                      DIAMETER: 7.94mm                      CORNER RADIUS: 3.97mm                      LENGTH: 65mm                      FLUTES: 3                      DESCRIPTION: 3/8" Ball Endmill</p>	<p>MINIMUM Z: -34mm                      MAXIMUM FEED: 1397mm/min                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4890rpm                      CUTTING DISTANCE: 4620.51mm                      RAPID DISTANCE: 5860.21mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 4m:30s (6.9%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35                      COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35                      VENDOR: Maritool                      PRODUCT: CAT40-ER32-2.35</p>	
<p><b>T15 D15 L15</b>                      TYPE: countersink                      DIAMETER: 19mm                      TIP ANGLE: 90°                      LENGTH: 30mm                      FLUTES: 3</p>	<p>MINIMUM Z: -27mm                      MAXIMUM FEED: 500mm/min                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4000rpm                      CUTTING DISTANCE: 22.25mm                      RAPID DISTANCE: 184.75mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 5s (0.1%)</p>	<p>HOLDER: BT40 - B4C4-0016</p>	

5/7/24, 6:45 PM

Setup Sheet for Program 1001

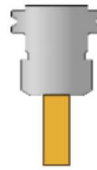




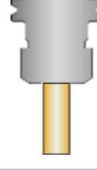

<p><b>T18 D18 L18</b>                  TYPE: drill                  DIAMETER: 6.35mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 81.91mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 1/4</p>	<p>MINIMUM Z: -62.38mm                  MAXIMUM FEED: 736.6mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4580rpm                  CUTTING DISTANCE: 113.09mm                  RAPID DISTANCE: 1870.34mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 32s (0.8%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck                  COMMENT: Maritool CAT40-APU13                  VENDOR: Maritool                  PRODUCT: CAT40-APU13</p>	
<p><b>T19 D19 L19</b>                  TYPE: drill                  DIAMETER: 4.76mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 50.16mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 3/16</p>	<p>MINIMUM Z: -32.98mm                  MAXIMUM FEED: 736.6mm/min                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 6621rpm                  CUTTING DISTANCE: 14.86mm                  RAPID DISTANCE: 217.78mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 4s (0.1%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck                  COMMENT: Maritool CAT40-APU13                  VENDOR: Maritool                  PRODUCT: CAT40-APU13</p>	

Operations			
<p>Operation 1/26                  DESCRIPTION: Probe WCS1                  STRATEGY: Probe                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 155mm                  MINIMUM Z: 0mm</p>	<p><b>T3 D3 L3</b>                  TYPE: probe                  DIAMETER: 8mm                  CORNER RADIUS: 4mm                  LENGTH: 104mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: Renishaw OMP60 8mm x 100mm                  COMMENT: Renishaw OMP60 8mm x 100mm                  VENDOR: Renishaw                  PRODUCT: OMP60_A-5000-7796</p>	
<p>Operation 2/26                  DESCRIPTION: Pocket2                  STRATEGY: Pocket                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.1mm                  STOCK TO LEAVE: 0mm                  MAXIMUM STEPDOWN: 0.8mm                  MAXIMUM STEPOVER: 18.1mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                  MINIMUM Z: -24mm                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5090rpm                  MAXIMUM FEEDRATE: 2336.8mm/min                  CUTTING DISTANCE: 11307.76mm                  RAPID DISTANCE: 49.35mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 4m:51s (7.4%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T1 D1 L1</b>                  TYPE: flat end mill                  DIAMETER: 19.05mm                  LENGTH: 50mm                  FLUTES: 3                  DESCRIPTION: 3/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 3/26                  DESCRIPTION: Drill1                  STRATEGY: Drilling                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                  MINIMUM Z: -32.91mm                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4580rpm                  MAXIMUM FEEDRATE: 736.6mm/min                  CUTTING DISTANCE: 29.07mm                  RAPID DISTANCE: 365.32mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 7s (0.2%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T18 D18 L18</b>                  TYPE: drill                  DIAMETER: 6.35mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 81.91mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 1/4</p>	
<p>Operation 4/26                  DESCRIPTION: Drill1 (2)                  STRATEGY: Drilling                  WCS: #0                  TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                  MINIMUM Z: -32.98mm                  MAXIMUM SPINDLE SPEED: 6621rpm                  MAXIMUM FEEDRATE: 736.6mm/min                  CUTTING DISTANCE: 14.86mm                  RAPID DISTANCE: 217.78mm                  ESTIMATED CYCLE TIME: 4s (0.1%)                  COOLANT: Flood</p>	<p><b>T19 D19 L19</b>                  TYPE: drill                  DIAMETER: 4.76mm                  TIP ANGLE: 118°                  LENGTH: 50.16mm                  FLUTES: 1                  DESCRIPTION: 3/16</p>	




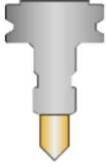
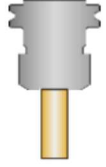
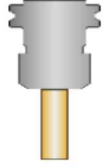

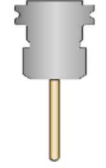

5/7/24, 6:45 PM

Setup Sheet for Program 1001

<p>Operation 5/26  <b>DESCRIPTION:</b> Pocket2 (4)  <b>STRATEGY:</b> Pocket  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 0.8mm  <b>MAXIMUM STEPOVER:</b> 18.1mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -12.5mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 5090rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 2336.8mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 3465.92mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 37.85mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 1m:29s (2.3%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T1 D1 L1</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill  <b>DIAMETER:</b> 19.05mm  <b>LENGTH:</b> 50mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>DESCRIPTION:</b> 3/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 6/26  <b>DESCRIPTION:</b> Adaptive1 (3)  <b>STRATEGY:</b> Adaptive  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 10mm  <b>OPTIMAL LOAD:</b> 0.5mm  <b>LOAD DEVIATION:</b> 0.05mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -33.74mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 7639rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 1397.1mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 10158.74mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 12285.99mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 9m:44s (14.9%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill  <b>DIAMETER:</b> 6.35mm  <b>LENGTH:</b> 40mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 1/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 7/26  <b>DESCRIPTION:</b> Drill2  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -35.88mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 3973rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 736.6mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 18.63mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 226.48mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 4s (0.1%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T18 D18 L18</b>  <b>TYPE:</b> drill  <b>DIAMETER:</b> 7.94mm  <b>TIP ANGLE:</b> 118°  <b>LENGTH:</b> 81.91mm  <b>FLUTES:</b> 1  <b>DESCRIPTION:</b> 5/16</p>	
<p>Operation 8/26  <b>DESCRIPTION:</b> Drill4  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -27mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 4000rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 500mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 11.13mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 92.38mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 2s (0.1%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T15 D15 L15</b>  <b>TYPE:</b> countersink  <b>DIAMETER:</b> 19mm  <b>TIP ANGLE:</b> 90°  <b>LENGTH:</b> 30mm  <b>FLUTES:</b> 3</p>	
<p>Operation 9/26  <b>DESCRIPTION:</b> Drill Damper  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -62.38mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 3973rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 736.6mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 46.76mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 1052.07mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 16s (0.4%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T18 D18 L18</b>  <b>TYPE:</b> drill  <b>DIAMETER:</b> 7.94mm  <b>TIP ANGLE:</b> 118°  <b>LENGTH:</b> 81.91mm  <b>FLUTES:</b> 1  <b>DESCRIPTION:</b> 5/16</p>	
<p>Operation 10/26  <b>DESCRIPTION:</b> Pocket2 (3)  <b>STRATEGY:</b> Pocket  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 0.8mm  <b>MAXIMUM STEPOVER:</b> 18.1mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -12.5mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 5090rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 2336.8mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 3255.81mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 37.85mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 1m:24s (2.1%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T1 D1 L1</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill  <b>DIAMETER:</b> 19.05mm  <b>LENGTH:</b> 50mm  <b>FLUTES:</b> 3  <b>DESCRIPTION:</b> 3/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 11/26  <b>DESCRIPTION:</b> Adaptive1 (2)  <b>STRATEGY:</b> Adaptive  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 10mm  <b>OPTIMAL LOAD:</b> 0.5mm  <b>LOAD DEVIATION:</b> 0.05mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -33.74mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 7639rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 1397.1mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 9026.99mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 12817.88mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 9m:2s (13.8%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill  <b>DIAMETER:</b> 6.35mm  <b>LENGTH:</b> 40mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 1/4" Flat Endmill</p>	

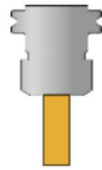
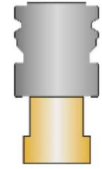

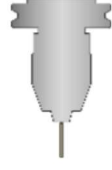
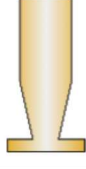
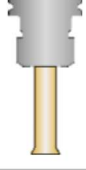

5/7/24, 6:45 PM

Setup Sheet for Program 1001

<p>Operation 12/26                      DESCRIPTION: Drill2 (2)                      STRATEGY: Drilling                      WCS: #0                      TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                      MINIMUM Z: -35.88mm                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3973rpm                      MAXIMUM FEEDRATE: 736.6mm/min                      CUTTING DISTANCE: 18.63mm                      RAPID DISTANCE: 226.48mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 4s (0.1%)                      COOLANT: Flood</p>	<p><b>T18 D18 L18</b>                      TYPE: drill                      DIAMETER: 7.94mm                      TIP ANGLE: 118°                      LENGTH: 81.91mm                      FLUTES: 1                      DESCRIPTION: 5/16</p>	
<p>Operation 13/26                      DESCRIPTION: Drill4 (2)                      STRATEGY: Drilling                      WCS: #0                      TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                      MINIMUM Z: -27mm                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4000rpm                      MAXIMUM FEEDRATE: 500mm/min                      CUTTING DISTANCE: 11.13mm                      RAPID DISTANCE: 92.38mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 2s (0.1%)                      COOLANT: Flood</p>	<p><b>T15 D15 L15</b>                      TYPE: countersink                      DIAMETER: 19mm                      TIP ANGLE: 90°                      LENGTH: 30mm                      FLUTES: 3</p>	
<p>Operation 14/26                      DESCRIPTION: Pocket2 (2)                      STRATEGY: Pocket                      WCS: #0                      TOLERANCE: 0.1mm                      STOCK TO LEAVE: 0mm                      MAXIMUM STEPDOWN: 0.8mm                      MAXIMUM STEPOVER: 18.1mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                      MINIMUM Z: -10mm                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5090rpm                      MAXIMUM FEEDRATE: 2336.8mm/min                      CUTTING DISTANCE: 5035.17mm                      RAPID DISTANCE: 35.35mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 2m:10s (3.3%)                      COOLANT: Flood</p>	<p><b>T1 D1 L1</b>                      TYPE: flat end mill                      DIAMETER: 19.05mm                      LENGTH: 50mm                      FLUTES: 3                      DESCRIPTION: 3/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 15/26                      DESCRIPTION: Pocket2 Desbaste                      STRATEGY: Pocket                      WCS: #0                      TOLERANCE: 0.1mm                      STOCK TO LEAVE: 0.1mm                      MAXIMUM STEPDOWN: 0.8mm                      MAXIMUM STEPOVER: 18.1mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                      MINIMUM Z: -51.5mm                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5090rpm                      MAXIMUM FEEDRATE: 2336.8mm/min                      CUTTING DISTANCE: 8146.82mm                      RAPID DISTANCE: 76.85mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 3m:30s (5.3%)                      COOLANT: Flood</p>	<p><b>T1 D1 L1</b>                      TYPE: flat end mill                      DIAMETER: 19.05mm                      LENGTH: 50mm                      FLUTES: 3                      DESCRIPTION: 3/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 16/26                      DESCRIPTION: Adaptive1                      STRATEGY: Adaptive                      WCS: #0                      TOLERANCE: 0.1mm                      STOCK TO LEAVE: 0mm                      MAXIMUM STEPDOWN: 10mm                      OPTIMAL LOAD: 0.5mm                      LOAD DEVIATION: 0.05mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                      MINIMUM Z: -33.99mm                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7639rpm                      MAXIMUM FEEDRATE: 1397.1mm/min                      CUTTING DISTANCE: 8308.67mm                      RAPID DISTANCE: 988.59mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 6m:57s (10.8%)                      COOLANT: Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>                      TYPE: flat end mill                      DIAMETER: 6.35mm                      LENGTH: 40mm                      FLUTES: 4                      DESCRIPTION: 1/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 17/26                      DESCRIPTION: Contour4                      STRATEGY: Contour                      WCS: #0                      TOLERANCE: 0.01mm                      STOCK TO LEAVE: 0mm                      MAXIMUM STEPDOWN: 0.3mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                      MINIMUM Z: -34mm                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4890rpm                      MAXIMUM FEEDRATE: 1397mm/min                      CUTTING DISTANCE: 4620.51mm                      RAPID DISTANCE: 5860.21mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 4m:30s (6.9%)                      COOLANT: Flood</p>	<p><b>T12 D12 L12</b>                      TYPE: ball end mill                      DIAMETER: 7.94mm                      CORNER RADIUS: 3.97mm                      LENGTH: 65mm                      FLUTES: 3                      DESCRIPTION: 3/8" Ball Endmill</p>	
<p>Operation 18/26                      DESCRIPTION: Adaptive4                      STRATEGY: Adaptive                      WCS: #0                      TOLERANCE: 0.1mm                      STOCK TO LEAVE: 0mm                      MAXIMUM STEPDOWN: 10mm                      OPTIMAL LOAD: 2.54mm                      LOAD DEVIATION: 0.25mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                      MINIMUM Z: -28mm                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7639rpm                      MAXIMUM FEEDRATE: 1397.1mm/min                      CUTTING DISTANCE: 4121.69mm                      RAPID DISTANCE: 4805.09mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 4m:27s (6.8%)                      COOLANT: Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>                      TYPE: flat end mill                      DIAMETER: 6.35mm                      LENGTH: 40mm                      FLUTES: 4                      DESCRIPTION: 1/4" Flat Endmill</p>	

5/7/24, 6:45 PM

Setup Sheet for Program 1001

<p>Operation 19/26                      DESCRIPTION: Adaptive9                      STRATEGY: Adaptive                      WCS: #0                      TOLERANCE: 0.1mm                      STOCK TO LEAVE: 0mm                      MAXIMUM STEPDOWN: 0.8mm                      OPTIMAL LOAD: 7.62mm                      LOAD DEVIATION: 0.76mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                      MINIMUM Z: -45mm                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5090rpm                      MAXIMUM FEEDRATE: 2336.8mm/min                      CUTTING DISTANCE: 9624.63mm                      RAPID DISTANCE: 7979.77mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 5m:45s (8.8%)                      COOLANT: Flood</p>	<p><b>T1 D1 L1</b>                      TYPE: flat end mill                      DIAMETER: 19.05mm                      LENGTH: 50mm                      FLUTES: 3                      DESCRIPTION: 3/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 20/26                      DESCRIPTION: Face8                      STRATEGY: Facing                      WCS: #0                      TOLERANCE: 0.01mm                      MAXIMUM STEPOVER: 25mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                      MINIMUM Z: 0mm                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 955rpm                      MAXIMUM FEEDRATE: 460mm/min                      CUTTING DISTANCE: 277.57mm                      RAPID DISTANCE: 20mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 36s (0.9%)                      COOLANT: Flood</p>	<p><b>T10 D10 L10</b>                      TYPE: face mill                      DIAMETER: 50mm                      LENGTH: 50mm                      FLUTES: 4</p>	
<p>Operation 21/26                      DESCRIPTION: Adaptive Riel                      STRATEGY: Adaptive                      WCS: #0                      TOLERANCE: 0.1mm                      STOCK TO LEAVE: 0mm                      MAXIMUM STEPDOWN: 10mm                      OPTIMAL LOAD: 2.54mm                      LOAD DEVIATION: 0.25mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                      MINIMUM Z: -8.49mm                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7639rpm                      MAXIMUM FEEDRATE: 1397.1mm/min                      CUTTING DISTANCE: 1316.67mm                      RAPID DISTANCE: 437.8mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:2s (1.6%)                      COOLANT: Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>                      TYPE: flat end mill                      DIAMETER: 6.35mm                      LENGTH: 40mm                      FLUTES: 4                      DESCRIPTION: 1/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 22/26                      DESCRIPTION: Drill7                      STRATEGY: Drilling                      WCS: #0                      TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                      MINIMUM Z: -5mm                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 10000rpm                      MAXIMUM FEEDRATE: 495.3mm/min                      CUTTING DISTANCE: 11.13mm                      RAPID DISTANCE: 163.88mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 3s (0.1%)                      COOLANT: Flood</p>	<p><b>T7 D7 L7</b>                      TYPE: drill                      DIAMETER: 2mm                      TIP ANGLE: 118°                      LENGTH: 22.38mm                      FLUTES: 1                      DESCRIPTION: 5/64</p>	
<p>Operation 23/26                      DESCRIPTION: Slot_mordaza                      STRATEGY: 3D Path                      WCS: #0                      TOLERANCE: 0.01mm                      STOCK TO LEAVE: 0mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                      MINIMUM Z: -6.5mm                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5000rpm                      MAXIMUM FEEDRATE: 1000.001mm/min                      CUTTING DISTANCE: 54.39mm                      RAPID DISTANCE: 20mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 5s (0.1%)                      COOLANT: Flood</p>	<p><b>T2 D2 L2</b>                      TYPE: slot mill                      DIAMETER: 19.05mm                      LENGTH: 38.1mm                      FLUTES: 3</p>	
<p>Operation 24/26                      DESCRIPTION: Contour7                      STRATEGY: Contour                      WCS: #0                      TOLERANCE: 0.01mm                      STOCK TO LEAVE: 0mm                      MAXIMUM STEPDOWN: 1mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                      MINIMUM Z: -6.5mm                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 9700rpm                      MAXIMUM FEEDRATE: 2328mm/min                      CUTTING DISTANCE: 994.87mm                      RAPID DISTANCE: 264.71mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 2m:40s (4.1%)                      COOLANT: Flood</p>	<p><b>T4 D4 L4</b>                      TYPE: dovetail mill                      DIAMETER: 25mm                      CORNER RADIUS: 0.4mm                      TAPER ANGLE: 30°                      LENGTH: 76.2mm                      FLUTES: 3                      VENDOR: HAAS                      PRODUCT: 01-0518</p>	
<p>Operation 25/26                      DESCRIPTION: 2D Pocket1                      STRATEGY: Pocket 2D                      WCS: #0                      TOLERANCE: 0.1mm                      STOCK TO LEAVE: 0.1mm                      MAXIMUM STEPOVER: 2.85mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm                      MINIMUM Z: -8.4mm                      MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8100rpm                      MAXIMUM FEEDRATE: 740.664mm/min                      CUTTING DISTANCE: 172.94mm                      RAPID DISTANCE: 38.6mm                      ESTIMATED CYCLE TIME: 19s (0.5%)                      COOLANT: Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>                      TYPE: flat end mill                      DIAMETER: 3mm                      LENGTH: 40mm                      FLUTES: 4                      DESCRIPTION: 3mm Flat Endmill</p>	

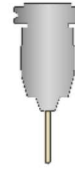
5/7/24, 6:45 PM

## Setup Sheet for Program 1001

Operation 26/26  
DESCRIPTION: Drill10  
STRATEGY: Drilling  
WCS: #0  
TOLERANCE: 0.01mm

MAXIMUM Z: 15mm  
MINIMUM Z: -14.48mm  
MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7223rpm  
MAXIMUM FEEDRATE: 733.831mm/min  
CUTTING DISTANCE: 42.22mm  
RAPID DISTANCE: 721.99mm  
ESTIMATED CYCLE TIME: 12s (0.3%)  
COOLANT: Flood

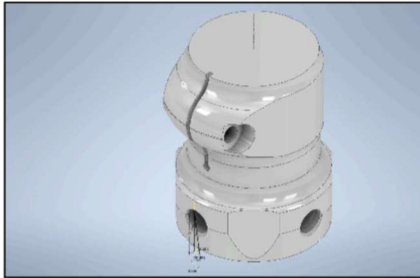
**T1 D1 L1**  
TYPE: drill  
DIAMETER: 4.37mm  
TIP ANGLE: 118°  
LENGTH: 50mm  
FLUTES: 1  
DESCRIPTION: 11/64



Generated by [Inventor CAM Ultimate 11.0.0.21457](#) Tuesday, May 07, 2024 18:44:41

**Setup Sheet for Program 1001**


JOB DESCRIPTION: Setup1  
 DOCUMENT PATH: C:\Users\mateo\OneDrive - Universidad San Francisco de Quito\Documentos\Semesters\TESIS\Diseno Inventor\Tesis\acople\_h\_tibia.ipt

Setup	
<p><b>WCS: #0</b></p> <p><b>STOCK:</b>                      DX: 45mm                      DY: 45mm                      DZ: 50mm</p> <p><b>PART:</b>                      DX: 40mm                      DY: 42.49mm                      DZ: 50mm</p> <p><b>STOCK LOWER IN WCS #0:</b>                      X: -22.5mm                      Y: -22.5mm                      Z: -50mm</p> <p><b>STOCK UPPER IN WCS #0:</b>                      X: 22.5mm                      Y: 22.5mm                      Z: 0mm</p>	

Total
<p><b>NUMBER OF OPERATIONS:</b> 5  <b>NUMBER OF TOOLS:</b> 3  <b>TOOLS:</b> T11 T16 T18  <b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -37.53mm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 1397.099mm/min  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 8828rpm  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 2001.07mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 2196.81mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 2m:49s</p>

Tools
-------

<p><b>T11 D11 L11</b>                      Type: flat end mill                      DIAMETER: 6.35mm                      LENGTH: 40mm                      FLUTES: 4                      DESCRIPTION: 1/4" Flat Endmill</p>	<p><b>MINIMUM Z:</b> -23.96mm  <b>MAXIMUM FEED:</b> 1397.099mm/min  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 7639rpm  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 1951.23mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 930.66mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 1m:45s (62%)</p>	<p><b>HOLDER:</b> UBERCHUCK APC-14 - 7.05" GL  <b>COMMENT:</b> 1/8" - 9/16" Collets Type C  <b>VENDOR:</b> ALBRECHT  <b>PRODUCT:</b> 74312</p>	
<p><b>T16 D16 L16</b>                      Type: drill                      DIAMETER: 3.57mm                      TIP ANGLE: 118°                      LENGTH: 38.26mm                      FLUTES: 1                      DESCRIPTION: 9/64</p>	<p><b>MINIMUM Z:</b> -37.53mm  <b>MAXIMUM FEED:</b> 736.6mm/min  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 8828rpm  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 32.9mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 1017.24mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 15s (8.8%)</p>	<p><b>HOLDER:</b> Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck  <b>COMMENT:</b> Maritool CAT40-APU13  <b>VENDOR:</b> Maritool  <b>PRODUCT:</b> CAT40-APU13</p>	
<p><b>T18 D18 L18</b>                      Type: drill                      DIAMETER: 4.37mm                      TIP ANGLE: 118°                      LENGTH: 46.2mm                      FLUTES: 1                      DESCRIPTION: 11/64</p>	<p><b>MINIMUM Z:</b> -23.81mm  <b>MAXIMUM FEED:</b> 733.831mm/min  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 7223rpm  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 16.94mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 248.91mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 4s (2.6%)</p>	<p><b>HOLDER:</b> Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck  <b>COMMENT:</b> Maritool CAT40-APU13  <b>VENDOR:</b> Maritool  <b>PRODUCT:</b> CAT40-APU13</p>	

Operations			
<p><b>Operation 1/5</b>                      DESCRIPTION: Adaptive1                      STRATEGY: Adaptive                      WCS: #0                      TOLERANCE: 0.1mm                      STOCK TO LEAVE: 0.5mm                      MAXIMUM STEPDOWN: 10mm                      OPTIMAL LOAD: 2.54mm                      LOAD DEVIATION: 0.25mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -23.45mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 7639rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 1397.099mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 937.07mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 832.37mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 50s (29.7%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>                      Type: flat end mill                      DIAMETER: 6.35mm                      LENGTH: 40mm                      FLUTES: 4                      DESCRIPTION: 1/4" Flat Endmill</p>	

<p>Operation 2/5  <b>DESCRIPTION:</b> Contour2  <b>STRATEGY:</b> Contour  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 10mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -23.96mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 7639rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 1397.099mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 846.77mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 51.69mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 47s (27.7%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill  <b>DIAMETER:</b> 6.35mm  <b>LENGTH:</b> 40mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 1/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 3/5  <b>DESCRIPTION:</b> Pocket2  <b>STRATEGY:</b> Pocket  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPDOWN:</b> 1mm  <b>MAXIMUM STEPOVER:</b> 6.03mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -13mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 7639rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 1397.099mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 167.39mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 46.59mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 8s (4.6%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T11 D11 L11</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill  <b>DIAMETER:</b> 6.35mm  <b>LENGTH:</b> 40mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 1/4" Flat Endmill</p>	
<p>Operation 4/5  <b>DESCRIPTION:</b> Drill4  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -37.53mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 8828rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 736.6mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 32.9mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 1017.24mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 15s (8.8%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T16 D16 L16</b>  <b>TYPE:</b> drill  <b>DIAMETER:</b> 3.57mm  <b>TIP ANGLE:</b> 118°  <b>LENGTH:</b> 38.26mm  <b>FLUTES:</b> 1  <b>DESCRIPTION:</b> 9/64</p>	
<p>Operation 5/5  <b>DESCRIPTION:</b> Drill4 (2)  <b>STRATEGY:</b> Drilling  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -23.81mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 7223rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 733.831mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 16.94mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 248.91mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 4s (2.6%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T18 D18 L18</b>  <b>TYPE:</b> drill  <b>DIAMETER:</b> 4.37mm  <b>TIP ANGLE:</b> 118°  <b>LENGTH:</b> 46.2mm  <b>FLUTES:</b> 1  <b>DESCRIPTION:</b> 11/64</p>	

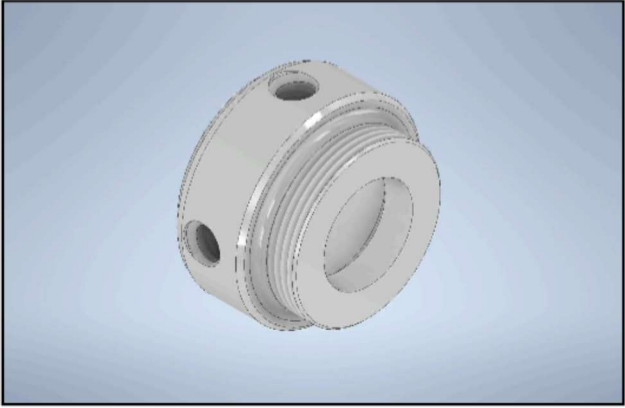
5/7/24, 6:40 PM

Setup Sheet for Program 1001


### Setup Sheet for Program 1001

JOB DESCRIPTION: Setup1

DOCUMENT PATH: C:\Users\mateo\OneDrive - Universidad San Francisco de Quito\ Documentos\Semesters\TESIS\Diseño Inventor\Tesis\acople\_h\_ AAA214-01.ipt

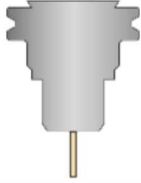
Setup	
<p><b>WCS: #0</b></p> <p><b>STOCK:</b> DX: 45mm DY: 45mm DZ: 30mm</p> <p><b>PART:</b> DX: 43.5mm DY: 43.5mm DZ: 26mm</p> <p><b>STOCK LOWER IN WCS #0:</b> X: -22.5mm Y: -22.5mm Z: -30mm</p> <p><b>STOCK UPPER IN WCS #0:</b> X: 22.5mm Y: 22.5mm Z: 0mm</p>	

Total
<p>NUMBER OF OPERATIONS: 5            NUMBER OF TOOLS: 4            TOOLS: T1 T13 T98 T99            MAXIMUM Z: 15mm            MINIMUM Z: -33.72mm            MAXIMUM FEEDRATE: 740.664mm/min            MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8100rpm            CUTTING DISTANCE: 328.3mm            RAPID DISTANCE: 710.91mm            ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:37s</p>


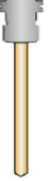

Tools	
<p><b>T1 D0</b></p> <p>TYPE: thread turning            INSERT: ISO triple            COMPENSATION: Tip tangent            DESCRIPTION: OD Threading</p>	<p>TOOL ORIENTATION IN TURRET: Radial HOLDER: Straight Right            MINIMUM Z: -27.5mm            MAXIMUM FEED: 0mm/min            MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5000rpm            CUTTING DISTANCE: 162.49mm            RAPID DISTANCE: 499mm            ESTIMATED CYCLE TIME: 6s (6.2%)</p>
	

5/7/24, 6:40 PM

Setup Sheet for Program 1001

<b>T13 D13 L13</b> TYPE: flat end mill LIVE DIAMETER: 3mm LENGTH: 22mm FLUTES: 4 DESCRIPTION: 3mm Flat Endmill			MINIMUM Z: -0.61mm MAXIMUM FEED: 740.664mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8100rpm CUTTING DISTANCE: 117.45mm RAPID DISTANCE: 25.31mm ESTIMATED CYCLE TIME: 14s (14.7%)	HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35 COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35 VENDOR: Maritool PRODUCT: CAT40-ER32-2.35	
<b>T98 D0</b> TYPE: general turning INSERT: ISO C 80deg EDGE LENGTH: 9.82mm NOSE RADIUS: 0.8mm CROSS SECTION: T TOLERANCE: M RELIEF: N 0deg COMPENSATION: Tip tangent DESCRIPTION: CNMT Right Hand			TOOL ORIENTATION IN TURRET: Radial MINIMUM Z: -2mm MAXIMUM FEED: 635mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5000rpm CUTTING DISTANCE: 30.89mm RAPID DISTANCE: 58.06mm ESTIMATED CYCLE TIME: 14s (14.5%)	HOLDER: ISO L Right	
<b>T99 D99 L99</b> TYPE: drill LIVE DIAMETER: 19.05mm TIP ANGLE: 118° LENGTH: 193.04mm FLUTES: 1 DESCRIPTION: 3/4			MINIMUM Z: -33.72mm MAXIMUM FEED: 736.6mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 1530rpm CUTTING DISTANCE: 17.47mm RAPID DISTANCE: 128.55mm ESTIMATED CYCLE TIME: 3s (3%)	HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35 COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35 VENDOR: Maritool PRODUCT: CAT40-ER32-2.35	


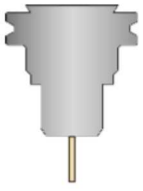
**Operations**

Operation 1/5 DESCRIPTION: Face2 STRATEGY: Turning Face WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm	MAXIMUM Z: 5mm MINIMUM Z: -2mm SURFACE SPEED: 91m/min FEEDRATE PER REV: 0.127mm CUTTING DISTANCE: 30.89mm RAPID DISTANCE: 58.06mm ESTIMATED CYCLE TIME: 14s (14.5%) COOLANT: Flood	<b>T98 D0</b> TYPE: general turning INSERT: ISO C 80deg EDGE LENGTH: 9.82mm NOSE RADIUS: 0.8mm CROSS SECTION: T TOLERANCE: M RELIEF: N 0deg COMPENSATION: Tip tangent DESCRIPTION: CNMT Right Hand	
Operation 2/5 DESCRIPTION: Drill1 STRATEGY: Drilling WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm	MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -33.72mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 1530rpm MAXIMUM FEEDRATE: 736.6mm/min CUTTING DISTANCE: 17.47mm RAPID DISTANCE: 128.55mm ESTIMATED CYCLE TIME: 3s (3%) COOLANT: Flood	<b>T99 D99 L99</b> TYPE: drill LIVE DIAMETER: 19.05mm TIP ANGLE: 118° LENGTH: 193.04mm FLUTES: 1 DESCRIPTION: 3/4	
Operation 3/5 DESCRIPTION: Thread1 STRATEGY: Turning Thread WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm	MAXIMUM Z: 5mm MINIMUM Z: -27.5mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 500rpm FEEDRATE PER REV: 1mm CUTTING DISTANCE: 81.24mm RAPID DISTANCE: 266mm ESTIMATED CYCLE TIME: 3s (3.3%) COOLANT: Flood	<b>T1 D0</b> TYPE: thread turning INSERT: ISO triple COMPENSATION: Tip tangent DESCRIPTION: OD Threading	



5/7/24, 6:40 PM

Setup Sheet for Program 1001

<p>Operation 4/5  <b>DESCRIPTION:</b> Thread1 (2)  <b>STRATEGY:</b> Turning Thread  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.01mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 7.5mm  <b>MINIMUM Z:</b> -8.5mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 500rpm  <b>FEEDRATE PER REV:</b> 1mm  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 81.24mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 233mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 3s (2.9%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T1 D0</b>  <b>TYPE:</b> thread turning  <b>INSERT:</b> ISO triple  <b>COMPENSATION:</b> Tip tangent  <b>DESCRIPTION:</b> OD Threading</p>	
<p>Operation 5/5  <b>DESCRIPTION:</b> 2D Pocket1  <b>STRATEGY:</b> Pocket 2D  <b>WCS:</b> #0  <b>TOLERANCE:</b> 0.1mm  <b>STOCK TO LEAVE:</b> 0mm  <b>MAXIMUM STEPOVER:</b> 2.85mm</p>	<p><b>MAXIMUM Z:</b> 15mm  <b>MINIMUM Z:</b> -0.61mm  <b>MAXIMUM SPINDLE SPEED:</b> 8100rpm  <b>MAXIMUM FEEDRATE:</b> 740.664mm/min  <b>CUTTING DISTANCE:</b> 117.45mm  <b>RAPID DISTANCE:</b> 25.31mm  <b>ESTIMATED CYCLE TIME:</b> 14s (14.7%)  <b>COOLANT:</b> Flood</p>	<p><b>T13 D13 L13</b>  <b>TYPE:</b> flat end mill LIVE  <b>DIAMETER:</b> 3mm  <b>LENGTH:</b> 22mm  <b>FLUTES:</b> 4  <b>DESCRIPTION:</b> 3mm Flat Endmill</p>	

Generated by [Inventor CAM Ultimate 11.0.0.21457](#) Tuesday, May 07, 2024 18:40:03

## 9. ANEXO B: MANEJO DEL PROYECTO

### Lista de compras

Numero	Pago	Proveedor	Factura	Descripción	Monto	Impuesto	Total	Fecha
1	Mateo	Amazon	113-6127200-9754603	78" x 12" Carbon Fiber	\$ 52,42	\$ 7,86	\$ 60,28	17-feb
2	Nath	Pintulac	028-005-000041156	1 kit resina epoxica supercast11	\$ 20,05	\$ 3,01	\$ 23,06	12-mar
3	Nath	Pintulac	028-005-000041156	1 cera desmoldante 1 kg autocare	\$ 12,03	\$ 1,80	\$ 13,83	12-mar
4	Mateo	Kwi	007-904-000499455	Brocha Sint, Cerda Blanca	\$ 1,77	\$ 0,27	\$ 2,04	13-mar
5	Mateo	Kwi	007-904-000499455	Lapiz para carpintero	\$ 0,60	\$ 0,09	\$ 0,69	13-mar
6	Mateo	Cardenas herrera	010-100-00168466	Vasos desechables 7 oz	\$ 0,58	\$ 0,09	\$ 0,67	13-mar
7	Mateo	MG	001-003-000051769	Duraluminio PL6* 120* 200mm(1und)	\$ 8,48	\$ 1,27	\$ 9,75	19-mar
8	Gabriel	MG	001-003-000052115	Placa A36 65* 65* 20mm(1und)	\$ 2,97	\$ 0,45	\$ 3,42	27-mar
9	Gabriel	MG	001-003-000052115	Retazos 2 1/2** 30m(1und)	\$ 2,00	\$ 0,30	\$ 2,30	27-mar
10	Nath	PA-CO	011-105-000325603	Paleta 1 un	\$ 0,60	\$ 0,09	\$ 0,69	13-mar
11	Gabriel	MG	001-003-000052588	Duraluminio RED 80 * 50 mm	\$ 7,94	\$ 1,19	\$ 9,13	9-abr
12	Gabriel	MG	001-003-000052588	Duraluminio RED 50 x(50* 2 +30* 1)	\$ 5,93	\$ 0,89	\$ 6,82	9-abr
13	Gabriel	FHM	001-002-000033213	Orden de trabajo Socket en L	\$ 43,48	\$ 6,52	\$ 50,00	19-abr
14	Daniel	FHM	001-002-000033213	Orden de trabajo Socket en L	\$ 60,87	\$ 9,13	\$ 70,00	19-abr
15	Nath	FHM	001-002-000033213	Orden de trabajo Socket en L	\$ 34,78	\$ 5,22	\$ 40,00	19-abr
16	Gabriel	MG	001-003-000052889	Retazos Aluminio 30* 50* 15 (2 und), 40* 50* 25 (1 und)	\$ 5,50	\$ 0,83	\$ 6,33	16-abr
17	Mateo	MG	001-003-00005378	Aluminio RED 40 * 45 mm (1 und)	\$ 1,80	\$ 0,27	\$ 2,07	6-may
18	Mateo	Surtipemos	001-001-000028835	6 Allen M6x25, 4 Prisioneros M8 x16	\$ 0,99	\$ 0,15	\$ 1,14	20-abr
19	Mateo	La Casa del Perno	001-002-00074864	4 M5x25, 2 M5x10, 2 M5x15, 4 M6x20, 8 M8x12 Pris, 2 3/16 phillips, 3/16 Pin	\$ 5,08	\$ 0,76	\$ 5,84	22-abr

### Cadena de suministro de piezas. *Supply Chain*.

No.	Archivo	Nombre	Quantity	Stock Number	CAD	PLOT	CAM	Proveedor	Material	Mat Stat	Costo	CAM Gabo	Maquinado	Final Check	Revisado P	Entregado
														Machuelar M8x1.25, Roscado Externo M36x1.5 Rebajar Longitud en		
1	acople_h_AAA214-01	Acople Hembra Femur	1	USFQ-001-24	ok	ok	ok	Aceros MG	Aluminio	ok	\$ 1,58	ok		12-abr Rboca	Mateo	ok
2	acople_h_tibia	Acople Hembra Tibia	2	USFQ-002-24	ok	ok	ok	Aceros MG	Aluminio	ok	\$ 5,24	ok		12-abr Machuelar M8x1.25	Mateo	ok
2	acople_h_tibia_short	Acople Hembra Tibia 35mm	2	USFQ-002-24B	ok	ok	ok	Aceros MG	Aluminio	ok	\$ 2,07	ok		12-may Machuelar M8x1.25	Mateo	ok
3	basepiramide	Base Piramide	1	USFQ-003-24	ok	ok	ok	Aceros MG	Aceros	ok	\$ 3,33	ok	ok	Aristas Vivas	Daniel	ok
4	piramide	Piramide	1	USFQ-004-24	ok	ok	ok	Aceros MG	Aceros	ok	\$ 2,24	ok	ok	ok	Daniel	ok
5	basedeslizante	Base Deslizante	1	USFQ-005-24	ok	ok	ok	Aceros MG	Aluminio	ok	\$ 9,13	ok		12-abr Maquinar 4-ejes Ordenar Herramienta	Daniel	ok
6	base_trap	Prisionero Diagonal	1	USFQ-006-24	ok	ok		Aceros MG	Aceros							
7	foot_sole_left	Planta Pie Izquierdo	1	USFQ-007-24	ok	ok	ok	Amazon	CFRP	ok	#REF!			Dremel division media	Gabriel	
8	fitting_joint	Base Tendón	2	USFQ-008-24	ok	ok	ok	Aceros MG	Aluminio	ok	\$ 3,00	ok	ok	Taladrar agujeros Final Aristas Vivas	Mateo	ok
9	J_tendon_single	Tendón J	2	USFQ-009-24	ok	ok	ok	Amazon	CFRP	ok	#REF!	n/a	n/a	Taladrar agujeros Final	Nath	ok
10	lid_joint	Tapa Tendón	2	USFQ-010-24	ok	ok	ok	Aceros MG	Aluminio	ok	\$ 1,00			12-abr Enviar CAM a Gabo	Mateo	
11	lid_top	Placa De Ajuste	1	USFQ-011-24	ok	ok	ok	Aceros MG	Aluminio	ok	\$ 1,00	ok	ok	ok	Mateo	ok
12	anchor_damper	Base Damper	1	USFQ-012-24	ok	ok	ok	Aceros MG	Aluminio	ok	\$ 2,50					
13	base_acople_h_96219	Base Acople Socket	1	USFQ-013-24	ok	ok	ok	USFQ	Aluminio	ok	\$ 2,50	ok	ok	comprar perno ISO 4762 M5x20 allen /socket 8,5	Mateo Daniel	ok
14	tibia	Tibia	1	USFQ-014-24	ok	ok	ok	USFQ	Aluminio	ok	\$ -	ok	ok	tolerancia de ajuste	Mateo	ok
15	placa_socket	Placa Socket	1	USFQ-015-24	ok	ok	ok	Aceros MG	Aluminio	ok	\$ 7,50	ok	ok	llevar a FHM	Mateo	ok
16	tope			USFQ-016-24	ok	ok		Aceros MG	Grillon	ok	\$ -	ok	ok	Acoplar con rodilla	Nath	ok
17	barra_posterior			USFQ-017-24	ok	ok		Aceros MG	Aluminio	ok	\$ -	ok	ok	cambiar de pasadores	Nath	ok
18	locking_pin			USFQ-018-24	ok	ok		Aceros MG	Aceros	ok	\$ -	ok	ok	n/a	Nath	ok
19	onc_locking_pin			USFQ-019-24	ok	ok		Aceros MG	Aceros	ok	\$ -	ok	ok	Aristas Vivas	Nath	ok
20	mold_foot			USFQ-020-24	ok	ok		USFQ	PET-G	ok	\$ 2,00	ok	ok	Lijar niveles	Nath	ok
21	mold_tendon			USFQ-021-24	ok	ok		USFQ	PET-G	ok	\$ 2,00	ok	ok	Ajuste con ligas	Nath	ok
51	ISO 4026 - M5 x 12		2	USFQ-051-24	ok			La Casa del Perno	perno							ok
52	ISO 4026 - M3 x 8		1	USFQ-052-24	ok			La Casa del Perno	perno							ok
53	ISO 4762 - M8 x 12		2	USFQ-053-24	ok			La Casa del Perno	perno							ok
54	ISO 4762 - M2.5 x 4		1	USFQ-054-24	ok			La Casa del Perno	perno							ok
55	CSN 021461 - M3		6	USFQ-055-24	ok			La Casa del Perno	perno							ok
56	ISO 10642 - M4 x 12		2	USFQ-056-24	ok			La Casa del Perno	perno							ok
57	ISO 10642 - M5 x 12		2	USFQ-057-24	ok			La Casa del Perno	perno							ok
58	ISO 10642 - M4 x 16		1	USFQ-058-24	ok			La Casa del Perno	perno							ok
59	ISO 4032 - M6		2	USFQ-059-24	ok			La Casa del Perno	perno							ok
60	ISO 10642 - M6 x 20		2	USFQ-060-24	ok			Surtipernos	perno							ok
61	ISO 10642 - M6 x 12		2	USFQ-061-24	ok			Surtipernos	perno							ok
62	ISO 4762 M5 x 20		1	USFQ-062-24	ok			La Casa del Perno	perno							ok
63	ISO 4026 - M8 x 12		8	USFQ-063-24	ok			La Casa del Perno	perno							ok
64	ISO 4026 - M8 x 16		4	USFQ-064-24	ok			Surtipernos	perno							ok
65	ISO 10642 - M5 x 16		4	USFQ-065-24	ok			La Casa del Perno	perno							ok
66	ISO 4762 - M4 x 20		2	USFQ-066-24	ok			La Casa del Perno	perno							ok
100	Pathfinder	TVM Pro		USFQ-100-24	ok		ok	n/a	n/a							
101	piramideybase			USFQ-101-24	ok			n/a	n/a							
102	DNM DV22 165x35	Damper		USFQ-102-24	ok			Tatoo	n/a		\$ 60,00					
103	Foot			USFQ-103-24	ok			n/a	n/a							
104	Rodilla	I3M Pro		USFQ-104-24	ok			USFQ	n/a							
200	Protesis	Protesis	1	USFQ-200-24	ok		n/a	n/a	n/a	n/a	#REF!					

## Análisis de riesgo

Tipo de Riesgo	Código	Descripción	I	P	Prioridad	Responsable	Decisión Tomada	Estatus	Observaciones
Técnicos	1	La adherencia de la fibra de carbono sea débil y las placas se laminen	5	4	20	Mateo Arteaga	Instruirse bien en la técnica para minimizar los defectos, usar una funda para generar vacío y reducir vacancias que generen agrietamiento	Completado	Se implementó un proceso de molde positivo-negativo
	2	La rigidez del material no sea suficiente para soportar las cargas diseñadas	5	3	15	Mateo Arteaga	Realizar ensayos de tracción y cambiar el espesor de las piezas diseñadas	Completado	
	3	Se genere inestabilidad por los acoples piramidales de aluminio en la rodilla	2	5	10	Daniel Coral	Remaquinar la rodilla en acero si hay espacio en el taller, sino asumir el riesgo y dejar el proyecto para un futuro desarrollo.	Completado	Se asume el riesgo y se deja el trabajo para un futuro desarrollo
	4	No completar el mecanizado de las piezas requeridas debido a la saturación de la capacidad de producción a la que se tiene acceso en la Universidad	4	5	20	Daniel Coral	Implementar un itinerario estricto que garantice la finalización oportuna de todos los procesos de mecanizado. Esto implica la planificación detallada de cada etapa del proceso, asignación correcta de recursos y supervisión rigurosa para cumplir con los plazos establecidos.	Completado	
Operacionales	5	Que el socket resultante no sea comodo para el usuario; genere ampollas, quemaduras y posibles infecciones	4	2	8	Natanael Calle	Redactar recomendaciones en el manual de uso. Usar el socket con pantalón largo.	Completado	
	6	La protesis no amortigua lo suficiente al momento de utilizarla o es muy rígida para el usuario	1	3	3	Gabriel Garcia	Regular la presión en el amortiguador a preferencia del usuario. Si la pierna es muy rígida el usuario necesita un modelo diferente, se asume que el prototipo es para un cierto usuario y se define un rango de peso ideal para el uso.	Completado	Las pruebas se realizaron con usuarios no amputados.
	7	El pie se siente inestable y tiende a flejar en descanso	3	4	12	Gabriel Garcia	Esto significa que el eje de fuerza está muy atrás, se ajusta la pirámide del pie para que la alineación sea la correcta. Se diseña un riel para ajustar la posición del acople para tener adaptabilidad.	Completado	
Seguridad	8	Fallas resultantes a fatiga	5	4	20	Mateo Arteaga	Realizar cálculos conservativos sobre fatiga.	Completado	
Legales	9	Demandas resultantes de accidentes.	4	1	4	Natanael Calle	Firma de documento de liberación de responsabilidad	Completado	
Económico	10	Falta de documentacion adecuada para la devolucion de fondos	2	3	6	Daniel Coral	Facturar adecuadamente futuras compras. Hablar con el departamento de Contabilidad y Adquisiciones para la compra realizada en Amazon	Completado	
	11	Falta de presupuesto	4	2	8	Daniel Coral	Cotizar con los proveedores de los materiales, asumir el costo excedente si amerita.	Completado	No se asumió ningún costo extra
Comerciales	12	No encontrar la suspensión neumática con la que se diseñó el modelo en tiendas del Ecuador	4	3	12	Natanael Calle	Hacer un pedido de la suspensión por Amazon, o buscar la suspensión de segunda mano.	Completado	Se consiguió una suspensión de segunda mano

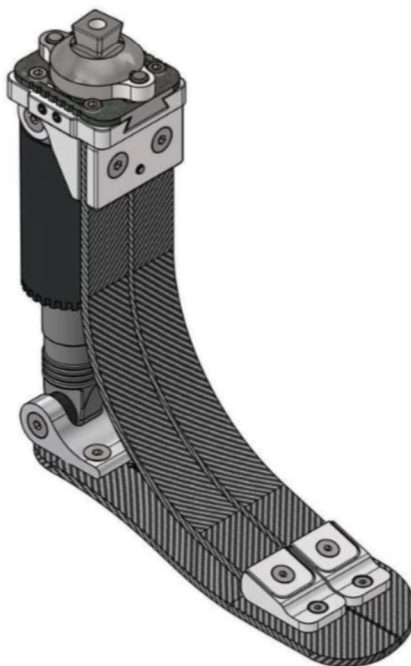


## 10. ANEXO C: MANUAL DE USUARIO

# MANUAL DE USUARIO

TWI PRO

+ ACOUPLE CON I3M PRO



# ÍNDICE

<b>01</b>	
Introducción	3
<b>02</b>	
Componentes	5
<b>03</b>	
Ficha Técnica	6
<b>04</b>	
Operación	7
<b>05</b>	
Mantenimiento	8
<b>06</b>	
Precaución	9
<b>07</b>	
Aviso Legal	10

# 01 INTRODUCCIÓN

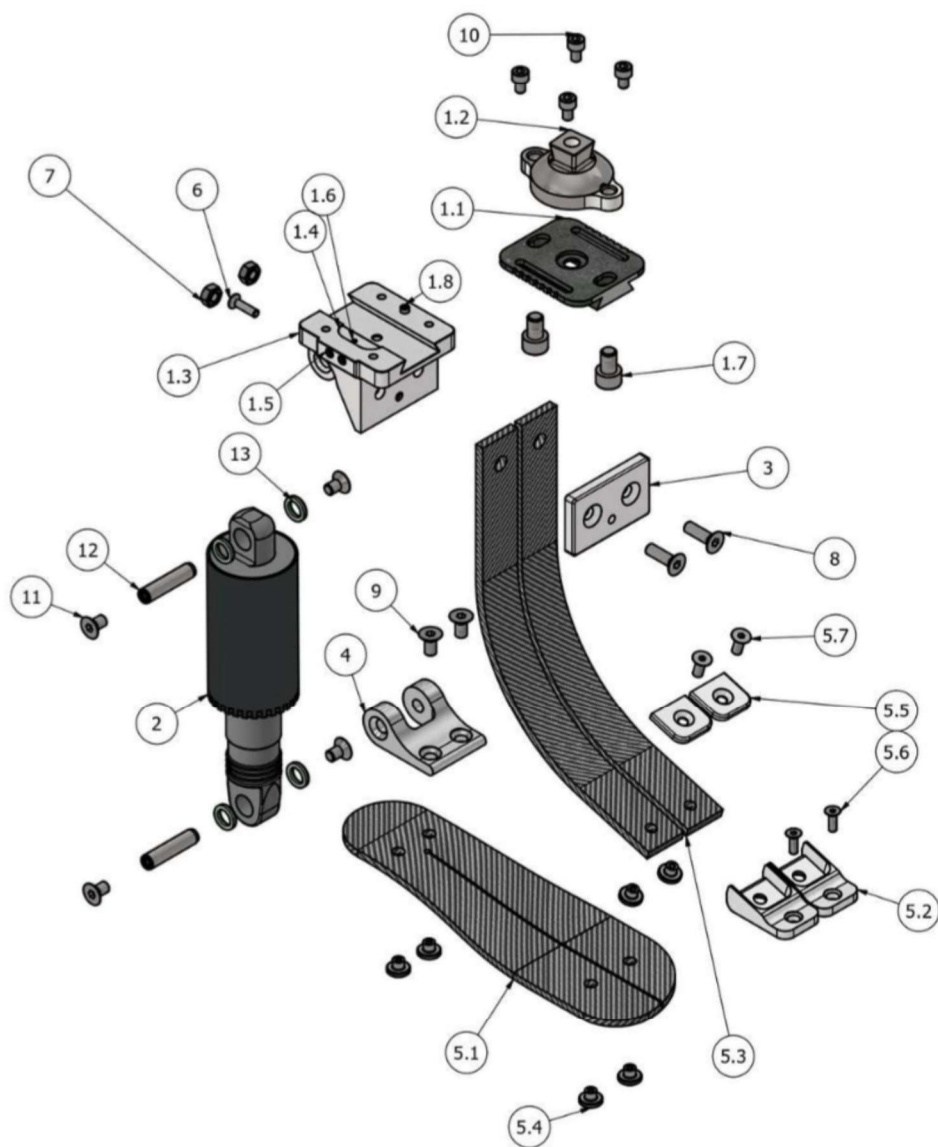
La prótesis de pie TWI PRO es un prototipo realizado por estudiantes de la Universidad San Francisco de Quito como proyecto de titulación de la carrera de Ingeniería Mecánica.

El prototipo es un artefacto para brindar movilidad a un usuario dependiente de una prótesis de pie. La misma que puede ser usada para pacientes con amputaciones transfemorales y transtibiales. Por esta razón, se realiza un manual para la operación de las partes móviles y fijas del mismo así como del mantenimiento que se debe seguir para llevar un correcto uso de la prótesis.

Para el uso de prótesis transfemoral, este pie se acopla a la rodilla prototipo I3M PRO que acompaña este diseño. Su integración permite el uso para usuarios no amputados con el socket en L diseñado también en el proyecto, junto a diferentes acoples que regulan la altura del usuario.



## O2 COMPONENTES



## 02 COMPONENTES

### TWI PRO

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Ensamble de Tobillo
1.1	1	basepiramide
1.2	1	piramide
1.3	1	basedeslizante
1.4	1	base_trap
1.5	2	ISO 4026 - M5 x 12
1.6	1	ISO 4026 - M3 x 8
1.7	2	ISO 4762 - M8 x 12
1.8	1	ISO 4762 - M2.5 x 4
2	1	Amortiguador
3	1	lid_top
4	1	anchor_damper
5	1	Ensamble de Pie
5.1	1	foot_sole_left
5.2	2	fitting_tendon
5.3	2	J_tendon
5.4	6	CSN 021461 - M4
5.5	2	lid_joint
5.6	2	ISO 10642 - M4 x 12
5.7	2	ISO 10642 - M5 x 12
6	1	ISO 10642 - M4 x 16
7	2	ISO 4032 - M6
8	2	ISO 10642 - M6 x 20
9	2	ISO 10642 - M6 x 12
10	4	ISO 4762 - M5 x 8
11	4	ISO 10642 - M6 x 10
12	2	PN-89/M-85018 - 8 x 35 - H, double sided
13	4	2-110 13,5 mm KolbenØ

## 02 COMPONENTES

### Ensamble de TWI PRO + I3M PRO

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	acople_h_AAA214-01
2	2	acople_h_tibia
3	1	acople_h_tibia_short
4	1	base_acople_h_9621 g
5	1	I3M Pro
6	8	ISO 4026 - M8 x 12
7	4	ISO 4026 - M8 x 16
8	2	ISO 4762 - M4 x 20
9	1	ISO 4762 - M5 x 20
10	4	ISO 10642 - M5 x 16
11	1	Socket en L
12	1	tibia
13	1	TWI Pro

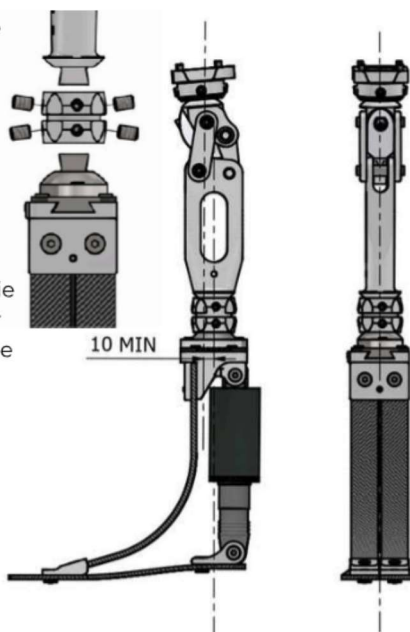
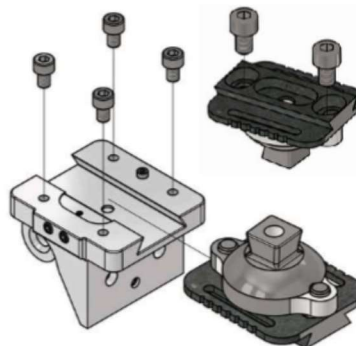
## 03 FICHA TÉCNICA

Peso ideal del usuario	70-80 Kg
Rangos de presión de aire para el amortiguador	100 psi - 180 psi
Peso del Pie	950 g
Altura del artefacto	240 mm
Materiales	Aluminio 6061 Acero A36 CFRP - Fibra de carbono

## 04 OPERACIÓN

### Ensamble del Equipo

- Todo el equipo se ensambla usando llaves Allen. El equipo viene ensamblado, pero se debe alinear. Para ajustar la pirámide se ajustan los pernos inferiores en la base con la alineación de giro deseada. Esto debe brindar comodidad y seguridad en el paso. Para fijar la base de la pirámide en la base deslizante se emperna a través de las ranuras.
- Para los acoples entre la rodilla y el pie, ajustar los prisioneros y pernos de ajuste a 15Nm, y asegurar la correcta alineación de los componentes para caminar de manera adecuada.
- La alineación de la prótesis de pie debe recaer al menos 10mm por detrás de la línea de fuerza desde la rodilla para mantener equilibrio estático. El ajuste fijo empernado asegura esta posición con la rodilla I3M Pro.
- De ser necesario una extensión de tibia se implementan los acoples de tibia con la longitud adecuada y se emperna de la misma manera.
- Inflar el amortiguador entre 100-180psi. Inflar en pasos de 10psi y preguntar al usuario por comodidad.



## 04 OPERACIÓN

El prototipo cuenta con un socket en L que permite a usuarios no amputados acoplar la prótesis en esta y caminar como si tuviesen una amputación. Para el uso del prototipo es necesario tener la supervisión en todo momento de una persona capacitada que apoye en el uso para evitar posibles caídas, lesiones, o daños del dispositivo.

### Uso del prototipo

- Para tanto amarrarse como soltarse del socket es recomendable sentarse y abrochar las tres correas de Velcro de manera ajustada, levantando un poco el pie amarrado al final para incorporarse y que la prótesis se asiente en el suelo.
- Es importante verificar que la altura del prototipo sea adecuada para el uso del usuario y se encuentre con una alineación recta del cuerpo.



- El caminar debe darse con pasos pequeños, bloqueando el sistema al asentar el pie con cada paso de prótesis. Este bloqueo se logra haciendo la rodilla hacia atrás, logrando estabilidad para dar el siguiente paso con la otra pierna.

## O5 MANTENIMIENTO

### Para lugares secos

- limpiar la prótesis con jabón y abundante agua

### Para lugares expuestos a sal o agua salada

- retirar la sal de los componentes metálicos con un paño mojado junto con abundante jabón. (pirámide superior, slicer, base amortiguador y base tendones)

### Amortiguador

- limpiar con abundante agua y jabón el cuerpo del amortiguador, manguito de aire y el basculante del cuerpo de la prótesis. Retirar partículas de polvo y tierra. Posteriormente secar con un paño.
- No rociar el amortiguador con agua a presión para evitar la entrada de agua al sistema interno, así como el desgaste de juntas y retenes.
- Realizar una revisión de juntas y retenes internos, una vez al año.
- En caso de fugas de aire del sistema, acercarse a un centro especializado de amortiguadores neumáticos para la revisión interna del mismo.

### Revisión anual

- Realizar una revisión visual a los componentes de la prótesis por si existen daños estructurales.
- Revisar el ajuste de los pernos sometidos en la estructura de la prótesis; comprobar su ajuste adecuado con el torque necesario.

## 11. ANEXO D: DOCUMENTACIÓN DE PROGRESO

### Meeting Minutes

#### Meeting Minutes

##### Reunión #1: 15/01/2024

- Leer tesis anterior, envía Daniel Coral
- Visita al Hermano Miguel (FHM) para conocer más sobre las prótesis, Mateo
- Background (rodilla)
- Buscar state-of-the-art
- Contacto con el señor que tiene la pierna, Coral
- Búsqueda de papers con prótesis de piernas con la parte electrónica
- Cachar los sockets
- Unión entre pie y rodilla
- Pie intercambiable
- Mecanismo de la unión del pie.
- Reuniones lunes y miércoles 10am.

##### Reunión #2: 17/01/2024

- Definición del problema
- Brainstorming de lista de requerimientos, indicadores KPI.
- Tenemos el contacto de Pablo Vallejo.
- Se envió un mail a la FHM para solicitar una visita a Verónica Suarez.
- Cada uno debe leer tres papers para

##### Semana 2: 22/01/2024

- Separar la literatura en dos partes: Estudio de la biomecánica y Alternativas de diseño.
- Integración de todo, socket de prueba y pie.
- ISO 10328. Prosthetics, Structural testing of lower-limb prostheses. Requirements and test methods

##### Semana 2: 24/01/2024

- Asme canons review
- Deber para el lunes 29 escribir ASME Canons en inglés y español
- Temas de introducción: diseño, biomecánica, integración de componentes
- Mejorar el título
- 
- Divisiones de la revisión:
  - biomecánica.
  - Opciones de diseño.
  - Sistema de control.
  - Acoplamiento de proyectos.

##### Semana 2: 26/01/2024

- Reunión Pablo Domingo 4 feb
- Distintos tipos de pie.



## Semana 3: 29/01/2024

- Identificar normas que vamos a usar y argumentar porque se van a usar y añadir esta info a la introducción.
- Revisar como se construye la introducción.
- Problema social (inec)
- Problema técnico (rodilla muy liviana y sin sistema de bloqueo, microcontroladores)
- Objetivo (desarrollar prótesis bajo costo, adaptable a las otras tesis y controladores, sistema de bloqueo)
- Procedimiento (selección de material, esfuerzos, presiones,
- Plantear standares que vamos a usar y porque

## Semana 3: 31/01/2024

- Definir subsistemas, alternativas por cada subsistema
- Definir criterios de selección para la matriz de alternativas
- Ponderar con el peso de cada criterio

## Semana 4: 5/02/2024

- Definir y describir criterios de selección
- Definir proceso de hacer la sujeción del socket
- Criterio de selección del bloqueo

## Semana 4: 7/02/2024

- Añadir tope de pin alternativa 4
- Desarrollar bonito todo chucha los criterios
- Tobillo: Estabilidad como criterio, ventajas del policéntrico

## Semana 5: 14/02/2024

- Esquema de los calculos que se van a hacer
- Diagrama de Gannt
- Tipo de cálculos, definición específica de cada componente
- E.g. Cálculo del soporte del tobillo, resorte de los tendones

## Semana 6: 28/02/2024

- Pensar en Deadlines, entrega de portafolio al final
- Fechas en cada item para cada evento
- Énfasis en los cálculos y simulaciones.

## Semana 7: 4/03/2024 – 6/03/2024

- Calculo fatiga
- Calculo bloqueo
- Modelar piezas

## Semana 8: 11/03/2024 – 13/03/2024

- Calculo pirámides

- Calculo Jotas
- Reunión diseño

Semana 9: 18/03/2024 – 20/03/2024

- Revisión calculos
- Análisis dinámico
- Revisión CAD

Semana 10: 25/03/2024 – 27/03/2024

- Ensamble inventor piezas
- Revisión análisis dinámico

Semana 11: Vacaciones medio semestre

- Inicio de maquinado

Semana 12: 8/04/2024 – 10/04/2024

Maquinado piezas

- Base deslizante
- Base completa
- Acoples

Semana 13: 15/04/2024 – 17/04/2024

Maquinado piezas

- Pirámides
- Tapas tendones
- Riel

Semana 14: 22/04/2024 – 25/04/2024

- Ensamble general
- Presentación feria

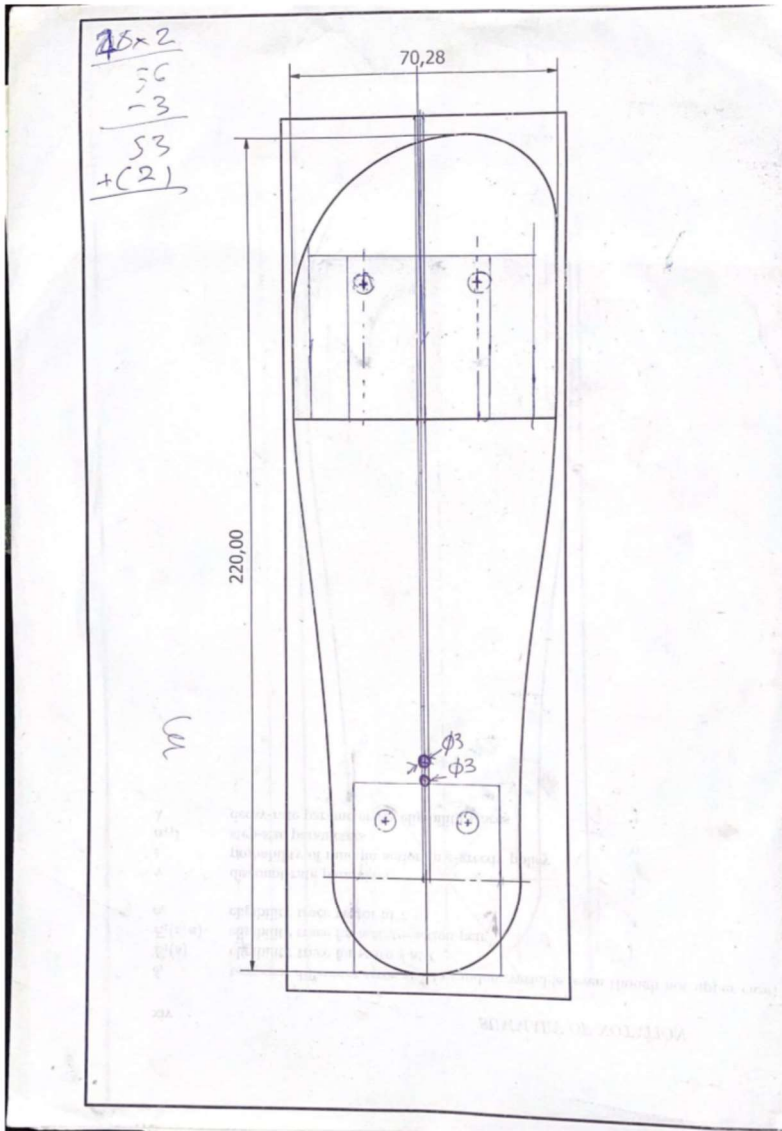
Semana 15: 6/05/2024 – 8/05/2024

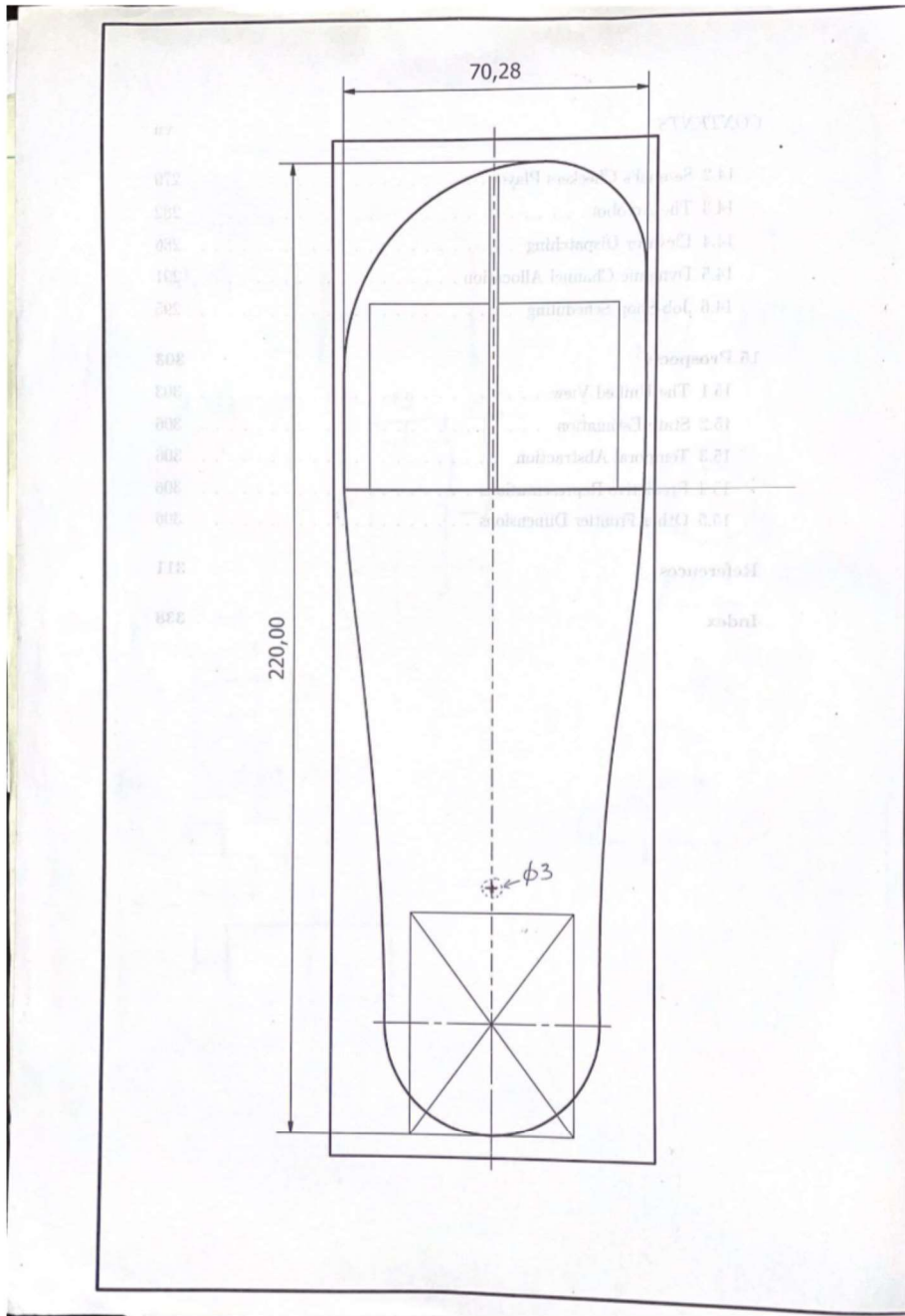
- Aristas vivas
- Preparación documento final
- Pruebas con cámaras
- Pruebas con app One Step

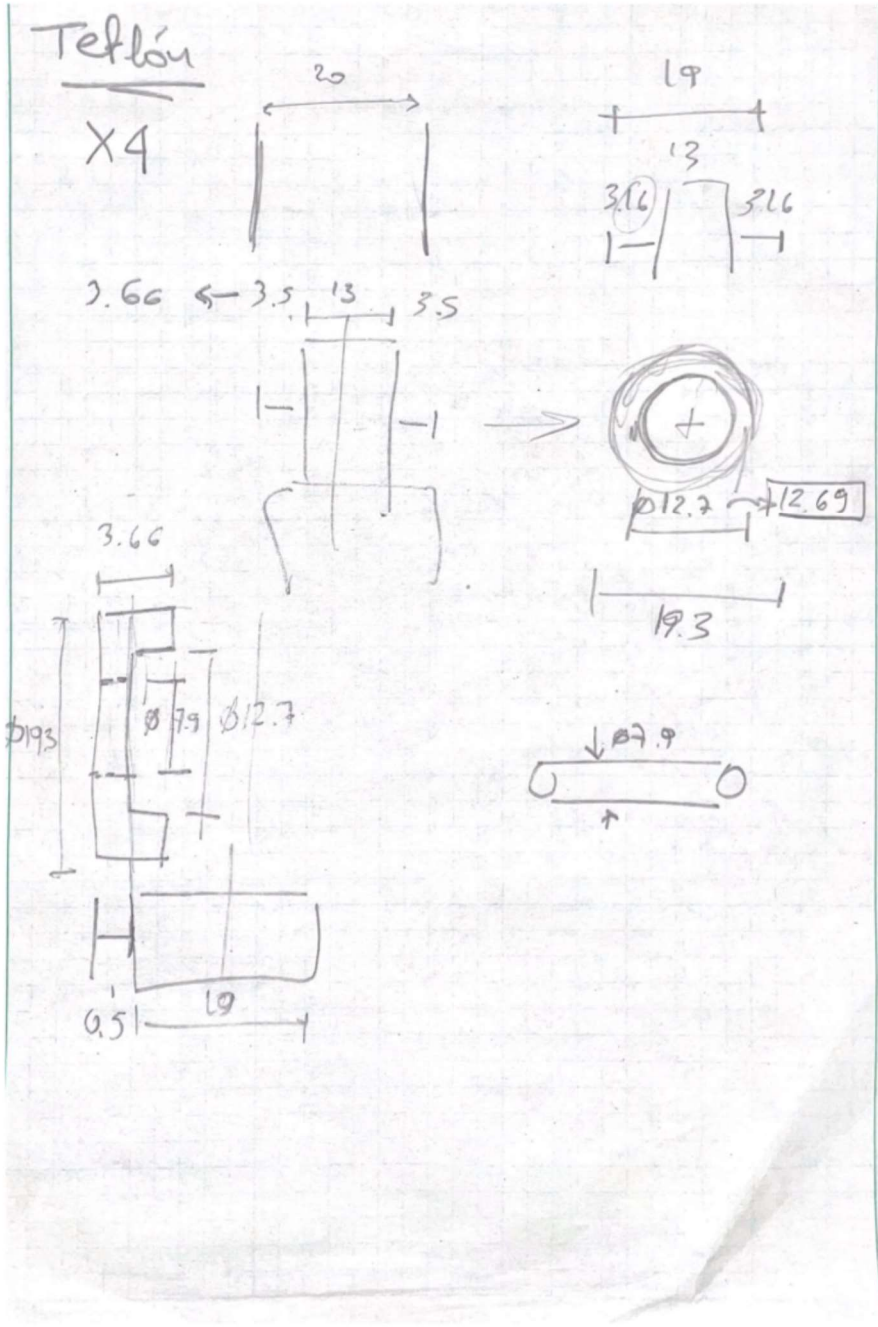
Semana 16: 13/05/2024 – 15/05/2024

- Preparación documento
- Elaboración de presentación

**Cálculos Manuales y Sketches**







Tesis Semana Santa

Placa → FHM (Jueves, viernes)

Miércoles:

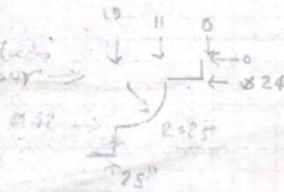
→ Piezas acero → Compra ✓  
CAM  
Maquinar.

→ Piezas Al → CAM (Stock)  
Es Volumen =  
Precio -

→ Excel Compras y Facturas

Pirámide

Torno - Relucido  
- Contour →



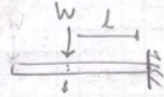
Fresa 4x - Cuadrado □ 17

	<p>21. Quito →</p> <p>22. → Zürich 16h00 → Konstanz</p> <p>↓</p> <p>25. Schaffhausen (Rheinfall)</p> <p>↓</p> <p>1-2. Schwarzwald</p> <p>↓</p> <p>3-6 Basel</p> <p>7-9 Würzburg / KIT</p> <p>10-11 <del>*</del> KIT (Karlsruhe)</p> <p>12-19 Hagenwerda / Dresden</p> <p>20-23 Luxemburg.</p> <p>⋮</p> <p>26. Frankfurt ✈</p>	<p>7 → Freitag (Zugfahrt 2 std.)</p> <p>8 → Samstag (Grillen)</p> <p>9 → Würzburg</p> <p>10-11 KIT</p> <p>12 → Zug nach Dresden. (6 Std.)</p> <p>13 - Party Dresden</p> <p>14 - Fahrt nach Hagenwerda (Schloß)</p> <p>15 - Greierwolder See.</p>
--	---	--



March 2024

Foot Calculations.



$$l = \frac{220}{3} = 74$$

$$h = 4 \text{ mm}$$

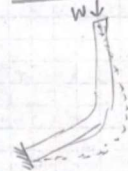
$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{Wl(h/2)}{\frac{1}{12}bh^3} = \frac{6Wl}{bh^2}$$

$$\sigma = \frac{6(400\text{N})(74\text{mm})}{(50\text{mm})(4\text{mm})^2} = 222 \text{ MPa}$$

$$SF = \frac{570\text{MPa}}{222\text{MPa}} = 2.57$$

Simulation: **3.78**

J tendous



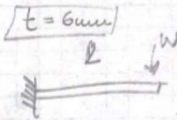
$$U_k = \frac{1}{2} k x^2 \Rightarrow k = 35 \text{ kN/m}$$

$$k_{eq} = k_1 + k_2 \Rightarrow k_1 = k_2 = 17.5 \text{ kN/m}$$

$$k = \frac{3EI}{l^2} \Rightarrow h = \sqrt[3]{\frac{4kl^3}{Eb}} = 1.62 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

(S.F. 1.72) sim.



$$W = 800\text{N} \times 0.325$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{Wl(h/2)}{\frac{1}{12}bh^3} = \frac{6Wl}{bh^2}$$

$$\sigma = \frac{6(260\text{N})(107.7\text{mm})}{(25\text{mm})(6\text{mm})^2} = 268.8 \text{ MPa}$$

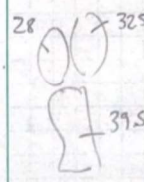
$$SF = \frac{592}{263} = 2.12$$

conservative curve reduces stress...

Note: with 6mm SF: 3.05

(278mm)  $\Rightarrow$  Simulation **2.04**

Simulation



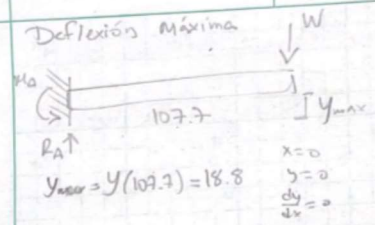
Total falta Pefnos  
S.F. 1.24  
compression acoro.

$\hookrightarrow$  Actual bending: (SF = 400N)

$$y = \frac{W}{EI} \left(-\frac{l^3}{3}\right) = 9.13 \text{ mm}$$

$$\hookrightarrow \theta = \tan^{-1}\left(\frac{594}{107.7}\right) = 5^\circ$$

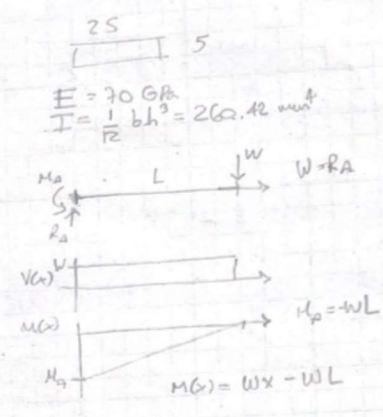
Deflexión Máxima



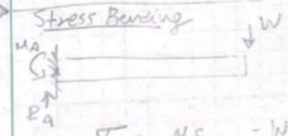
$y_{max} = y(107.7) = 18.8$

$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M(x)$   
 $EI \frac{dy}{dx} = \int M(x) + C_1$   
 $EI y(x) = \iint M(x) + C_1 x + C_2$

→ find  $W_{max}$ !  
 ⇒ Solve in Matlab (Below)



Stress Bending



$\sigma_a = -\frac{M c}{I} = -\frac{W L c}{\frac{1}{12} b h^3}$

$W = 400 \text{ N}$   
 $\sigma_a = \frac{400(107.7)(2.5)}{\frac{1}{12}(25)(5)^3}$   
 $\sigma_a = 413.56 \text{ MPa}$

Person: 80 kg  
 800 N

$\sigma_{br} = 600 \text{ MPa}$   
 $\sigma_{urc} = 570 \text{ MPa}$

(c) F.S. =  $\frac{570}{413} = 1.377$

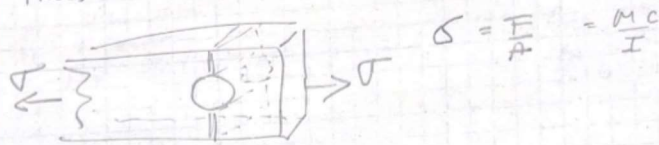
Dorsiflexión,  
 full weight.

t	4	4.7	5	6
T(t)	889	547	450	263
F.S.	0.67	1.09	1.33	2.28

$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = Wx - WL$   
 $EI \frac{dy}{dx} = \frac{Wx^2}{2} - WLx + C_1$   
 $EI y(x) = \frac{Wx^3}{6} - \frac{WLx^2}{2} + C_2$   
 $EI y(x) = W \left( \frac{x^3}{6} - \frac{x^2 L}{2} \right) \Rightarrow y(L) = 18.8$

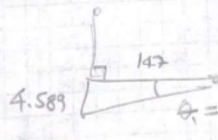
$W = EI y / \left( \frac{L^3}{6} - \frac{L^3}{2} \right) \frac{3}{6}$   
 $W = EI y / (-L^2/3)$   
 $W = -3EI y / L^2 = \frac{3EI y}{L^2} b h^3$   
 $W = \frac{EI y}{413} = 823 \text{ N}$   
 $S.F. = 2.06$

Pines cortante, Concentradores de esfuerzos

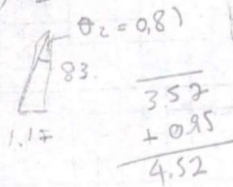
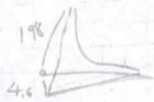


$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{M \cdot c}{I}$$

$\tau = \frac{F}{A} \rightarrow A = t(w-d) = 5 \times (25-6) = 95 \text{ mm}^2$   
 $F = 800 \text{ N} \rightarrow \tau = \frac{800}{95} = 8.42 \text{ MPa}$



$$K_t = \frac{4.589}{1.17} = 3.92$$



Concentrador de esfuerzos

$d = 6$        $d/w = 0.24 \rightarrow K_t = 2.45$   
 $w = 25$

$$\sigma_0 = \frac{F}{(w-d)t} = \frac{800 \text{ N}}{19(5)}$$

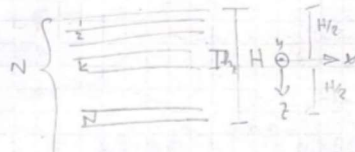
$$\tau_{max} = K_t \sigma_0$$

$\rightarrow \sigma_0 = \frac{800 \text{ N}}{19(5)} = 8.42 \text{ MPa} \rightarrow \tau_{max} = K_t \sigma_0 = 20.63 \text{ MPa}$

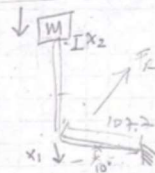
Classical Lamination Theory

$N$  - # laminae  
 $H$  - thickness  
 $h$  - layer thickness (all same)  $\rightarrow h_k$

Material: CFRP ( $V_f = 50\%$ )  
 $\hookrightarrow E_1 = E_2 = 70 \text{ GPa (max)}$   
 $G_{12} = 5 \text{ GPa}$   
 $\nu_{12} = 0.10$   
 $S_y = 600 \text{ MPa}$



$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x^0 + z\kappa_x^0 \\ \epsilon_y^0 + z\kappa_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 + z\kappa_{xy}^0 \end{Bmatrix} \rightarrow \text{Isotropic}$$



$X_2$ , compression  
 $W = F = 45 \text{ kN} \Rightarrow X_2 = 40 \text{ kg (9.81) } (129.5)$   
 $(100) (150)$   
 $X_2 = 3 \times 10^{-3} \text{ m (negligible)}$

$$U_k = \frac{1}{2} k_1 X_1^2 + \frac{1}{2} k_2 X_2^2 = 0$$

$A = 150 \text{ mm}^2$   
 $L = 129.5 \text{ mm}$   
 $E = 100 \text{ GPa}$

$U_p = 91 \text{ J}$   
 $8.1 \text{ J}$

$X_1$ , bending:

$$U_k = \frac{1}{2} k_b X_1^2 \Rightarrow k_b = 55 \text{ kN/m}$$

total DF  
 $10^\circ (12^\circ)$

$$k_b = \frac{3EI}{L^3} \Rightarrow E = \frac{k_b L^3}{3I} = 32.4 \text{ GPa}$$

$X_1 = 10.7 \text{ rad} = 18.8^\circ$   
 $10.7 \text{ rad} = 22.8^\circ$

$I = \frac{1}{12} b h^3 = 450 \text{ mm}^4$   $[N/m^2] [mm^4] = [GPa]$   
 $[mm] [1000]$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = 29.5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$\frac{160 \text{ t}}{25}$

t	A	5	6
$E_f(t)$	101	56	32.4

$f = 4.7 \text{ Hz}$

$\frac{[N/m] [mm]^3}{[mm]^4}$

$t = 4.6 \text{ mm}$   $m_s$   
 $5 \text{ mm}$

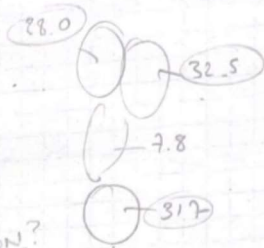
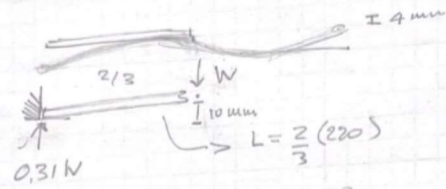
Undamped

DF  $(16.5^\circ) \approx 12^\circ$

$\frac{N}{m} \times \frac{1000 \text{ mm}^4}{1 \text{ m}}$

$X = 31.9$   
 $k = 17.885 \text{ kN/m}$

Talón, Diseño del Pie.



$$W = \frac{E y b h^3}{4 L^3}$$

$$E = 70 \text{ GPa}$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

$$y = 0.31 (800 \text{ N})$$

$$h = 10 \text{ mm}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{W 4 L^3}{E y b}}$$

$$\frac{[N]}{[Pa]} \frac{[mm]^3}{[mm]} \frac{[mm]}{[mm]} = \frac{[N]}{[Pa]} \frac{[mm]^2}{[mm]}$$



$$\sigma = \frac{M c}{I} = \frac{W L (\frac{L}{2})}{\frac{1}{12} b h^3}$$

$$\sigma_{max} = 600 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \frac{6 W L}{b h^2} \Rightarrow h_{min} = \sqrt{\frac{6 W L}{b \sigma}}$$

$$\frac{[N]}{[mm^2]} = \frac{[N]}{[mm^2]} \Rightarrow h_{min} = 1.9 \text{ mm}$$

$$h_{min} = 2 \text{ mm}$$

Full Load:

$$h = 3.43 \rightarrow 4 \text{ mm} //$$

Deflection:

$$W = \frac{E y b h^3}{4 L^3} \times 800$$

$$y = \frac{4 W L^3}{E b h^3} =$$

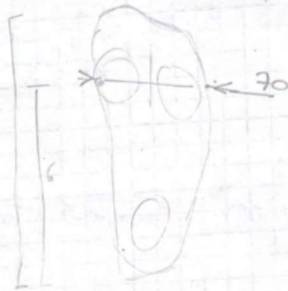
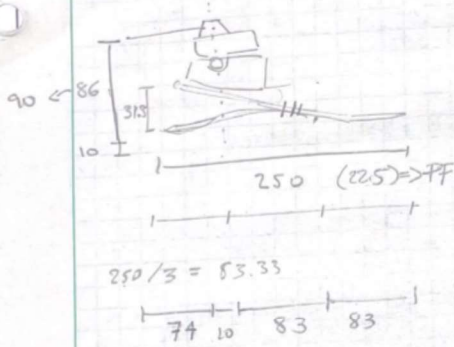
$$y = L \tan(\theta)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{4 W L^2}{E b h^3} \right) = 4.84^\circ$$

$$4.64 \Rightarrow \theta = 6^\circ$$

Cálculos de Pie

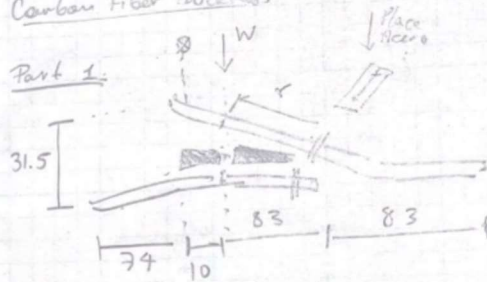
250 mm (estándar evatoriano)



Cómo decidir?  
-> mediciones reales.

Carbon Fiber Thickness

Part 1:



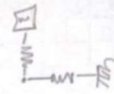
$$K = \frac{3EI}{l^3}$$

$$I = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}wt^3$$

Thickness Odyssey K3:

- 4mm → 4mm
  - 5mm → 4mm
  - 4mm → 6mm
- } Pablos  
} Pathfinder

$K_i + K_e$



Dorsiflexion  
Plantar  
flexion

Power required for any slope:

0%	→ 2.2 W/kg	⇒ 165 W
15%	→ 3.2 W/kg	⇒ 240 W
-15%	→ 1.5 W/kg	⇒ 112.5 W

(75kg)

$k_f = \frac{AE}{L}$

$E_k = \frac{1}{2} k x^2 \approx 240 \text{ W} @ \text{max Dorsiflexion}$

$E = (70 \text{ GPa}) \text{ } 130 \text{ GPa}$   
 specific modulus of 92  
 $S = 1.6 \text{ g/cm}^3$

Angles:  
 max:  $10-11^\circ$   
 min:  $-2^\circ$  }  $\pm 15^\circ$

$x = 26.45$

reference / Stored 8.1 J

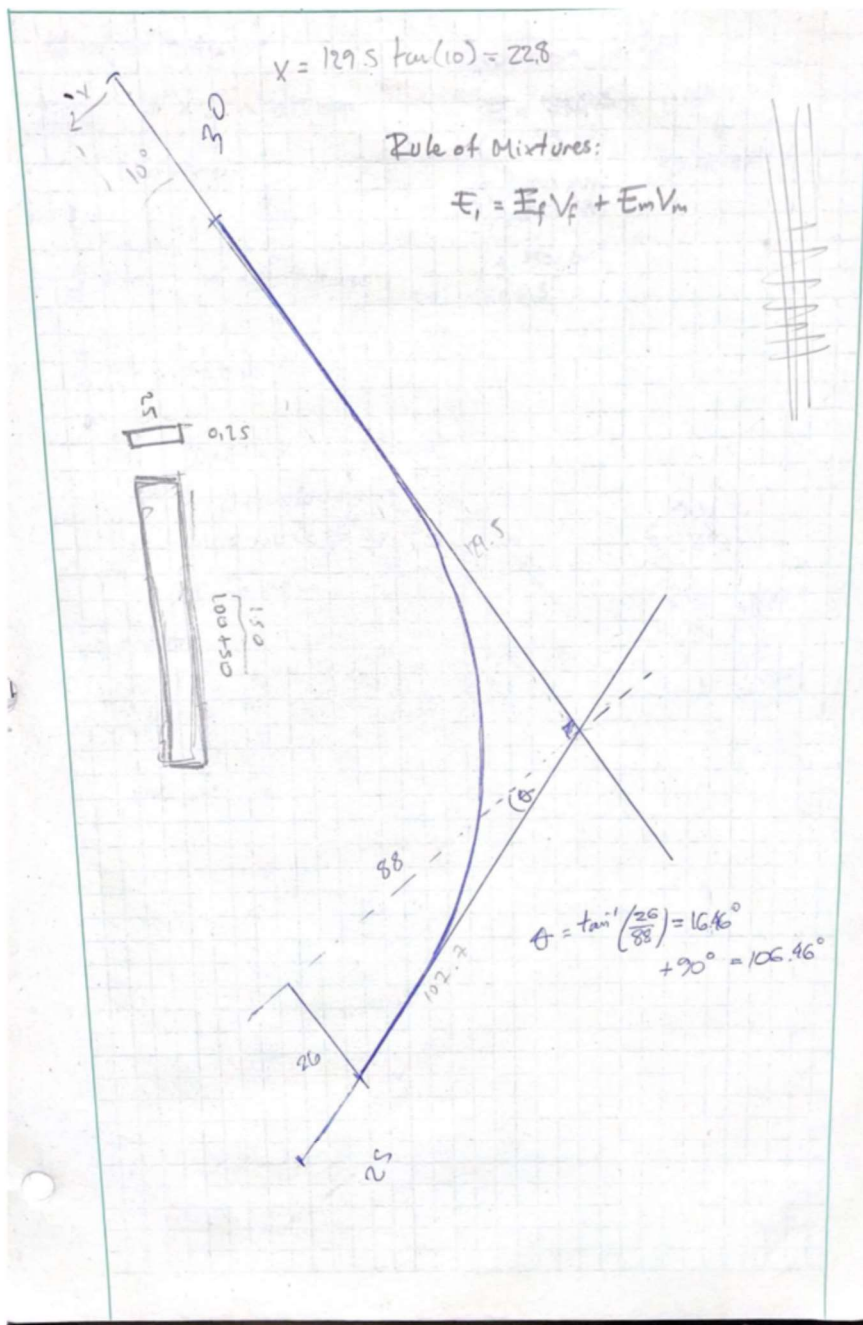
$U_x = \frac{1}{2} k x^2 = 8.1 \text{ J} / 9.1 \text{ return}$

$x_0 = L \tan \theta = 130 \tan(10) = 22.8 \text{ mm}$   
 $x_1 = L \tan \theta = 110 \tan(10) = 19.0 \text{ mm}$   
 $k = \frac{3EI}{L^3}$   
 $I = \frac{1}{12} b h^3 = 450 \text{ mm}^4$   
 $L = \frac{\sqrt{k \cdot 2}}{x^2} = \frac{8.1(2)}{(0.0228)^2}$   
 $k = 31163 \text{ N/m} = 31.163 \text{ kN/m}$   
 $E = \frac{k L^3}{3I} = 50.1 \text{ GPa}$

Planar flexion

$x = 22.8$

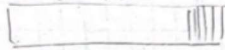
$t = \frac{a}{x}$





Volume of material

rolls: 38" x 12" x 0.25 mm  
 2 x 0.3 m  
 2000 x 300



J. form: 40 + 80 + 116 = 240  
 ⇒ 240 mm

$\frac{6 \text{ mm}}{0.25} = 24 \text{ strips / tendon}$

W = 30 mm

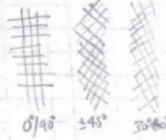
$30 \times 24 = 720 \text{ mm / tendon}$

x 2 tendons.

With 2 roll we get 2 pieces.

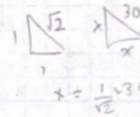
48 laminas

orientation?



Inventor CFRP

$E = 133 \text{ GPa}$  (isotropic)  
 $G = 53 \text{ GPa}$  ↓  
 Direction!  
 $S_y = 300 \text{ MPa}$   
 $S_T = 577 \text{ MPa}$   
 $\rho = 1.480 \text{ g/cm}^3$   
 $\nu = 0.39$



No llega a K1  
Muy liviano. muy pequeños.

Podilla { \$300  
          ↓  
          \$900, Aluminio

Adaptadores -  
abornillados

F.C. { \$800 - 900

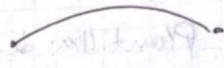
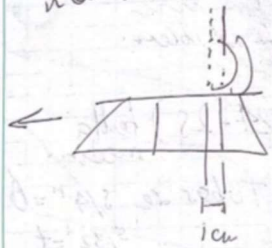
tension de resorte

Diseño de FC.

X rígidos.  
Cruceado  
+ recto (flexión)

la geometría de  
la planta.  
No es la  
mejor opción.

mantos unidireccionales.



traba.  
resistente.

resina,  
fibra de carbono

funda PBA

1 eje acero,  
aluminio

liviano y resistente

Potencia  
del tendón de  
Aquiles -  
Tibial anterior. fcbilla.



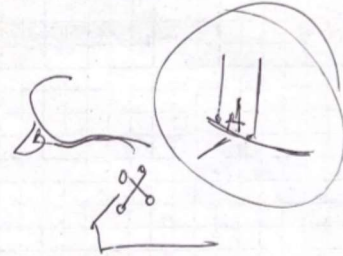
Termoplástico de L

$$(X)cm + \frac{12}{13} = EV$$
$$25 + \frac{12}{13} = (35)$$

Propuestas de Diseño

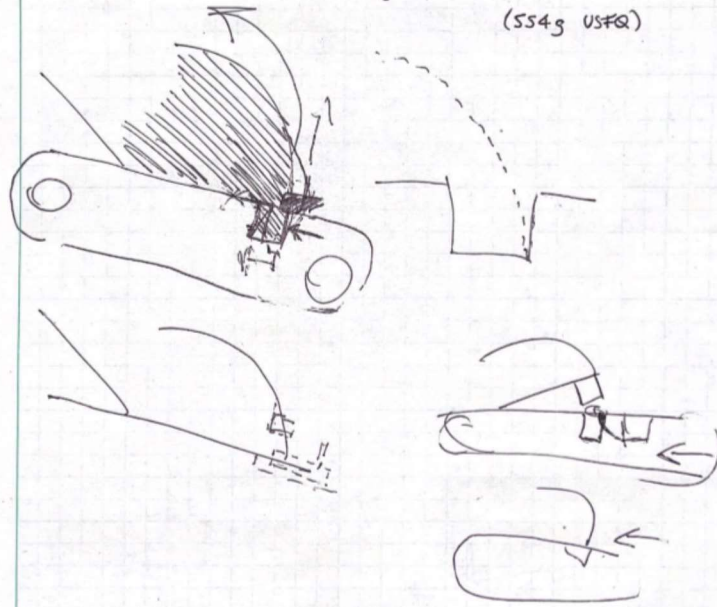
180 13485

- 1. Diseño del acople con socket
- 2. Bloqueo de rodilla
- 3. Diseño de la tibia
- 4. Diseño del Pie



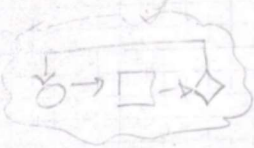
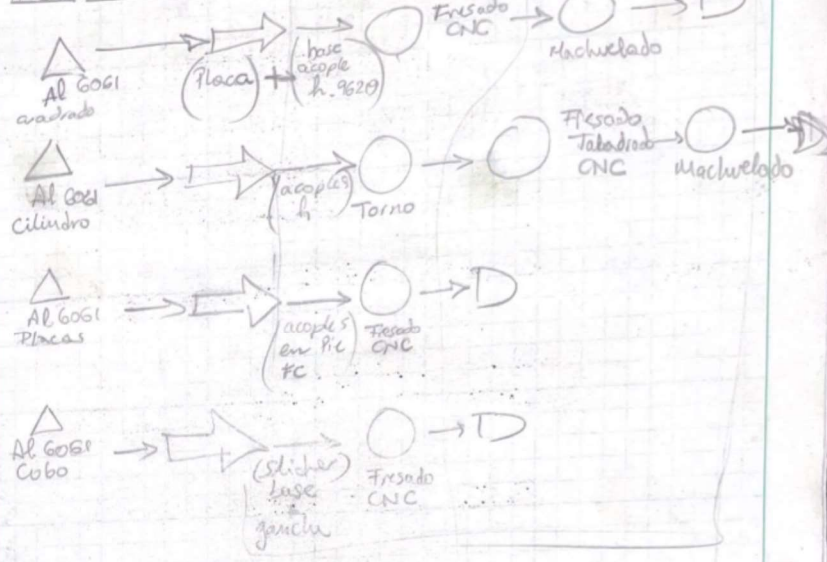
2. Bloqueo.

W.A.L.K. : weight activated locking knee. (316g Al)  
(554g USFR)

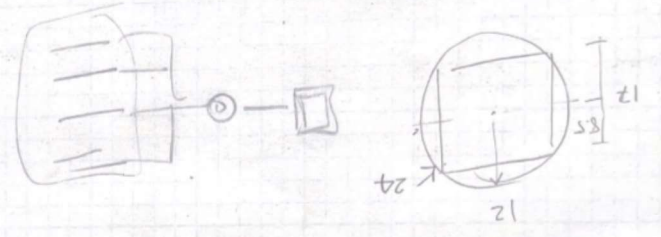


Piezas metálicas

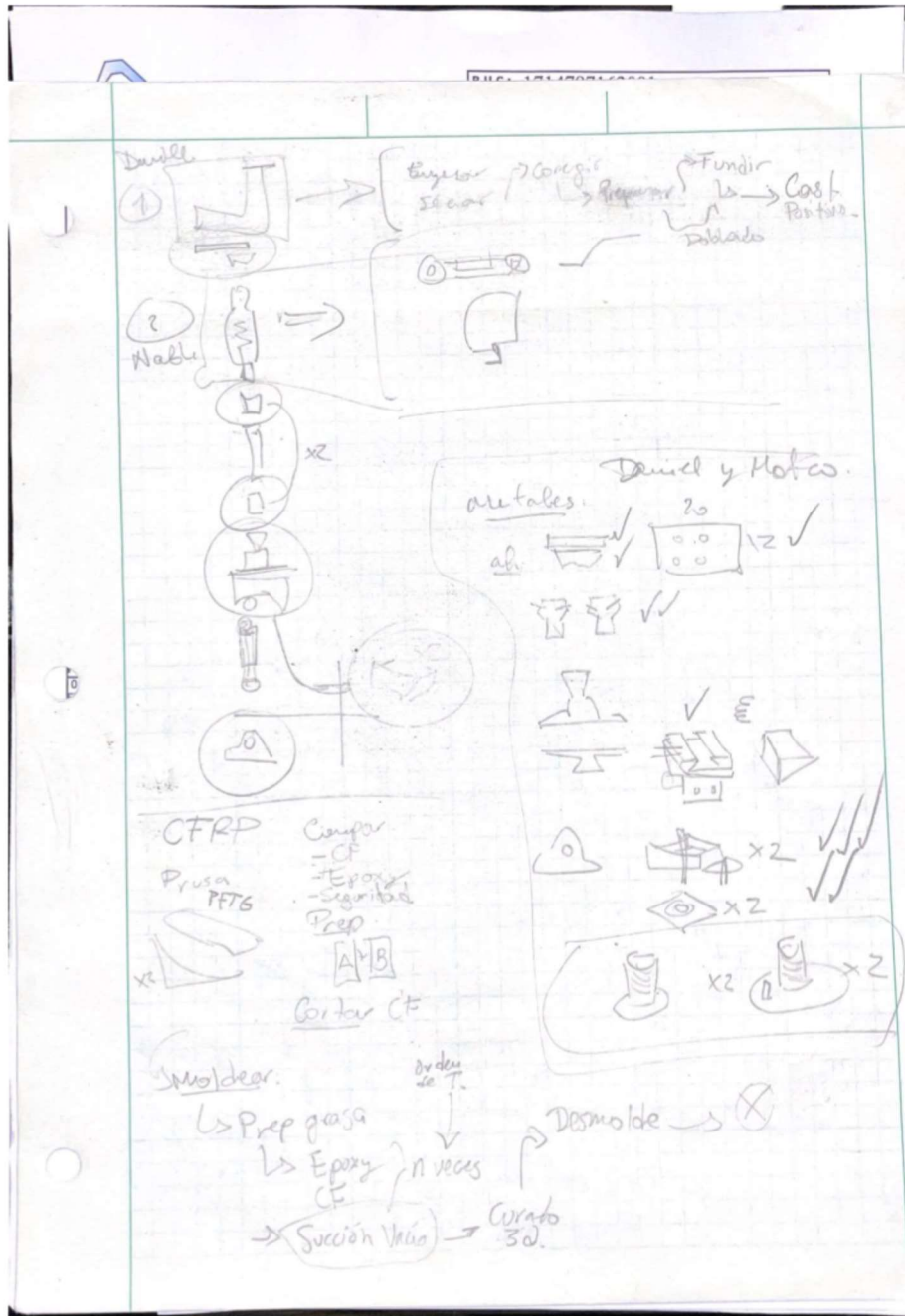
Taller USEQ - maquinado



5.5  
- 8.5  
12

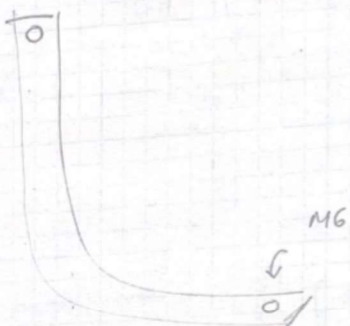




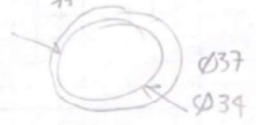
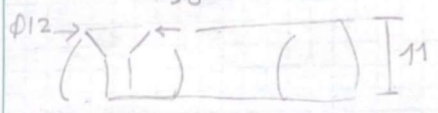
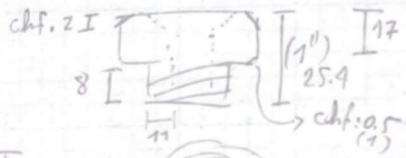
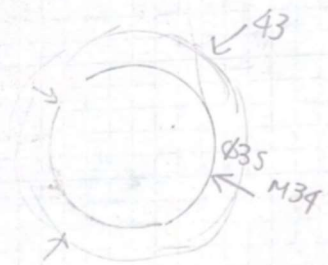
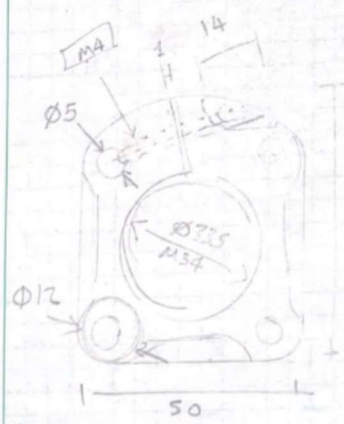


R.U.C.: 1714787163001

D



15



15-18 Nm

M7 I

R.U.C.: 1714787163001

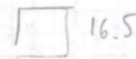
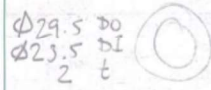
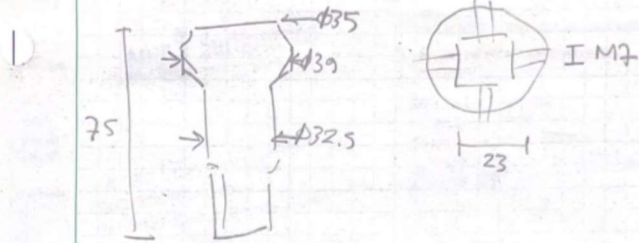


FIG 1

