

[Escribir texto]



PROYECTO FIN DE CARRERA

**Diseño, modelado y prototipado por
impresión 3D del bípedo PASIBOT**

Autor: Javier Lebrato Núñez

Tutores: Jesús Meneses Alonso
Santiago Martínez de la Casa

[Escribir texto]



ÍNDICE

1. Introducción	5
1.1 <i>Motivación y objetivos</i>	5
1.2 <i>Fases del proyecto</i>	7
1.3 <i>Estructura del documento</i>	8
2. Estado del arte	9
2.1 <i>Resumen robótica pasiva</i>	9
2.2 <i>Revisión robot Pasibot</i>	14
2.3 <i>Fabricación de prototipos con impresora 3D</i>	17
3. Diseño mecánico	35
3.1 <i>Listado de piezas</i>	35
3.2 <i>Cálculo del par motor</i>	39
4. Fabricación	42
5. Puesta en marcha	48
5.1 <i>Elementos de unión</i>	48
5.2 <i>Montaje</i>	50
5.3 <i>Problemas encontrados</i>	51
6. Conclusiones y trabajos futuros	55
7. Anexo	65
8. Bibliografía	75



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Robot humanoide</i>	9
<i>Figura 2. El gallo de Estrasburgo</i>	10
<i>Figura 3. Clasificación de robots</i>	12
<i>Figura 4. Robot bípedo</i>	12
<i>Figura 5. Mecanismo Chebyshev</i>	14
<i>Figura 6. Pantógrafo</i>	15
<i>Figura 7. Estabilizador</i>	16
<i>Figura 8. Software específicos.</i>	18
<i>Figura 9. Impresora 3D</i>	18
<i>Figura 10. Cubeta con piezas para imprimir</i>	20
<i>Figura 11. Ejemplo modelado</i>	21
<i>Figura 12. Ejemplos de modelos de color</i>	22
<i>Figura 13. Representación precisa del diseño</i>	23
<i>Figura 14. Ejemplo de material Direct Casting Metal</i>	24
<i>Figura 15. Material elastomérico</i>	25
<i>Figura 16. Cubeta para impresión 3D</i>	26
<i>Figura 17. Cubeta para impresión</i>	26
<i>Figura 18. Ejemplo al añadir color</i>	27
<i>Figura 19. Ejemplo al añadir color (2)</i>	28
<i>Figura 20. Ejemplo coloreado pieza</i>	28
<i>Figura 21. Otro ejemplo de coloreado de la pieza</i>	29
<i>Figura 22. Etiquetado de piezas</i>	29
<i>Figura 23. Ejemplo de anotaciones</i>	30
<i>Figura 24. Interfaz, fácil de usar</i>	30
<i>Figura 25. Impresora 3D</i>	33
<i>Figura 26. Pasos del proceso de impresión</i>	34
<i>Figura 27. Cadera</i>	35
<i>Figura 28. Biela y balancín</i>	35
<i>Figura 29. Manivela</i>	36
<i>Figura 30. Adaptador</i>	36
<i>Figura 31. Separador</i>	37
<i>Figura 32. Estabilizador</i>	37
<i>Figura 33. Tendón</i>	37
<i>Figura 33. Rodilla</i>	38
<i>Figura 34. Fémur, tibia y peroné</i>	38



<i>Figura 35. Deslizadera</i>	38
<i>Figura 36. Pie</i>	39
<i>Figura 37. Curva par motor</i>	40
<i>Figura 38. Datos del par según posición de la manivela</i>	40
<i>Figura 39. Posición de par máximo</i>	41
<i>Figura 40. Retirada de las piezas</i>	43
<i>Figura 41. Extracción de pieza</i>	43
<i>Figura 42. Aspirador de polvo</i>	44
<i>Figura 43. Aplicación de epoxi con un pincel</i>	45
<i>Figura 44. Posibles tratamientos superficiales</i>	46
<i>Figura 45. Epoxi</i>	46
<i>Figura 46. Casquillo</i>	48
<i>Figura 47. Foto tornillo de Nylon</i>	49
<i>Figura 48. Foto de casquillos con y sin ala</i>	49
<i>Figura 49. Ejemplo de junta</i>	51
<i>Figura 50. Juntas con tornillos de nylon</i>	52
<i>Figura 51. Junta de la rodilla</i>	52
<i>Figura 52. Corredera y cadera</i>	53
<i>Figura 53. Corredera y cadera (2)</i>	54
<i>Figura 54. Detalle de corredera</i>	56
<i>Figura 55. Corredera</i>	57
<i>Figura 56. Detalle de separadores integrados</i>	58
<i>Figura 57. Detalle de separadores integrado en la pieza</i>	58
<i>Figura 58. Separadores integrados</i>	59
<i>Figura 59. Manivela</i>	60
<i>Figura 60. Detalle de manivela</i>	60
<i>Figura 61. Detalle de pie</i>	61
<i>Figura 62. Detalle de corredera</i>	62
<i>Figura 63. Corredera</i>	62
<i>Figura 64. Diseño de junta</i>	63



1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación y objetivos

La Robótica es una nueva tecnología que surgió sobre 1960. En pocos años se han producido significativos avances y lo que es más importante, ha suscitado un gran interés, lo que favorece a su continua evolución.

Este auge se ha visto provocado por la necesidad, cada vez mayor, de implantar robots en numerosas instalaciones industriales, lo cual requiere el trabajo e investigación de un buen número de especialistas en la materia.

Además es una tecnología en desarrollo, por lo que investigadores y estudiantes en este ámbito tienen un amplio campo de trabajo para seguir mejorando y perfeccionando los robots ya existentes.

El objeto de estudio de este proyecto es el robot bípedo Pasibot, un mecanismo articulado desmodrómico que accionado por un solo motor consigue emular el caminar humano. El poseer un único grado de libertad es, pues, la característica más importante del Pasibot y lo que lo diferencia de otros robots humanoides. En efecto, la mayoría de los bípedos poseen un alto número de gdl.

El primer prototipo de Pasibot fue desarrollado por el grupo “Maqlab”. El principal problema de este primer bípedo era su inestabilidad lateral en la fase de apoyo simple.

El peso era excesivo y estaba concentrado (motor-mecanismo reductor) en la parte superior del bípedo, lo que, unido a la flexión de los eslabones y a la existencia de holguras angulares (laterales) conducía al vuelco lateral del robot al caminar, como se explica en el proyecto fin de carrera de Víctor Espantoso [1] y Eduardo Corral [2], entre otros. Ya en estos proyectos se sugería disminuir el peso y las dimensiones del bípedo.

La adquisición por parte del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de una impresora 3D ha motivado la propuesta de un prototipo más pequeño, adecuado a las dimensiones de la cubeta de impresión, y sobretodo utilizando un material que lo hace mucho más liviano.



Así, el objetivo principal de este proyecto es rediseñar todo el mecanismo, fabricarlo y montarlo.

La motivación final de la realización de este proyecto ha sido principalmente formar parte de un proyecto real de ingeniería mecánica, adquiriendo conocimientos relacionados con el campo de la robótica, intentar proponer ideas para mejorar el prototipo ya existente y resolver los problemas que hayan podido surgir, con el objetivo final de dotar al Pasibot de la mayor estabilidad y fiabilidad posible con el menor coste.

En definitiva, el proyecto comprende el desarrollo de un prototipo de Pasibot más pequeño y con menos peso, no sólo por las dimensiones sino también por el material empleado.



1.2 Fases del proyecto

Este proyecto está formado por las siguientes fases:

- Recopilación y estudio de los proyectos referentes al Pasibot y la bibliografía similar, así como la referente a la impresión 3D.
- Diseño de un prototipo compatible con la tecnología de impresión 3D de que dispone el departamento de ISA y que reúne las propuestas de mejora que se dedujeron de la fase anterior.
- Modelado, montaje y prueba virtual del prototipo. Obtención de las piezas en formato compatible con la impresión 3D.
- Impresión de las piezas y posterior tratamiento rigidizante.
- Acabado y mecanizado de las piezas para el montaje.
- Ensamblaje y evaluación del mecanismo. Propuestas de mejora.
- Rediseño del segundo prototipo.



1.3 Estructura del documento

La memoria del presente Proyecto Fin de Carrera se ha dividido en seis apartados, un anexo y una bibliografía.

Parte 1, introducción: En esta primera parte se explican los motivos por los que se ha realizado este proyecto así como los objetivos que se plantearon al inicio.

Parte 2, estado del arte: En este capítulo se realiza una breve introducción teórica sobre la historia de la robótica en general y de robot bípedo Pasibot en particular.

Parte 3, diseño mecánico: En la primera parte de este capítulo se describen de forma breve las herramientas informáticas empleadas en el desarrollo del proyecto.

Por último, se analizan los valores del par necesario para el movimiento del robot.

Parte 4, fabricación de piezas: Se describe el proceso mediante el cual se han impreso las piezas, a través de la impresora 3D.

Parte 5, puesta en marcha: Se explica cómo se ha llevado a cabo el proyecto desde que las piezas se imprimieron hasta el montaje real.

Parte 6, conclusiones y trabajos futuros: Por último se analizan los resultados obtenidos y se proponen posibles mejoras para proyectos próximos.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Resumen robótica pasiva

INTRODUCCIÓN

La palabra robot fue usada por primera vez en el año 1921, cuando el escritor checo Karel Capek (1890-1938) estrena en el teatro nacional de Praga su obra Rossum's Universal Robot (R.U.R.). Su origen es la palabra eslava robota, que se refiere al trabajo realizado de manera forzada. Los robots R.U.R. eran máquinas androides fabricadas a partir de la "fórmula" obtenida por un brillante científico llamado Rossum. Estos robots servían a sus jefes humanos desarrollando todos los trabajos físicos, hasta que finalmente se rebelan contra sus dueños, destruyendo toda la vida humana, a excepción de unos de sus creadores, con la frustrada esperanza de que les enseñe a reproducirse.

En la actualidad, un robot es una entidad virtual o mecánica artificial. En la práctica, esto es por lo general un sistema electro-mecánico que, por su apariencia o sus movimientos, ofrece la sensación de tener un propósito propio. La palabra robot puede referirse tanto a mecanismos físicos como a sistemas virtuales de software, aunque suele aludirse a los segundos con el término de bots, siendo programas informáticos que realizan funciones muy diversas, imitando el comportamiento de un humano.

No hay un consenso sobre qué máquinas pueden ser consideradas robots, pero sí existe un acuerdo general entre los expertos y el público sobre que los robots tienden a hacer parte o todo lo que sigue: moverse, hacer funcionar un brazo mecánico, sentir y manipular su entorno y mostrar un comportamiento inteligente, especialmente si ése comportamiento imita al de los humanos o a otros animales.

A lo largo de toda la historia, el hombre se ha sentido fascinado por máquinas y dispositivos capaces de imitar las funciones y movimientos de los seres vivos. Los griegos tenían una palabra específica para denominar a estas máquinas: automatos.

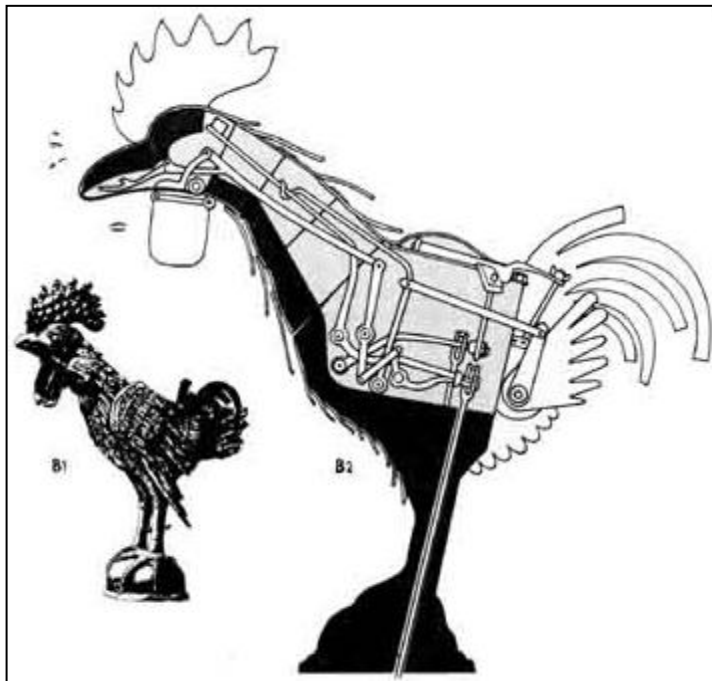
De esta palabra deriva la actual autómatas: máquina que imita la figura y movimientos de un ser animado. Los mecanismos animados de Herón de Alejandría (85 d.C) se movían a través de dispositivos hidráulicos, poleas y palancas y tenían fines eminentemente lúdicos [3].



Figura 1. Robot humanoide

La cultura árabe (siglo VIII a XV) heredó y difundió los conocimientos griegos, utilizándolos no sólo para realizar mecanismos destinados a la diversión, sino que les dio una aplicación práctica, introduciéndolos en la vida cotidiana de la realeza. Ejemplo de éstos son diversos sistemas dispensadores automáticos de agua para beber o lavarse. También de ese período son otros autómatas, de los que hasta la actualidad no han llegado más que referencias no suficientemente documentadas, como el Hombre de hierro de Alberto Magno (1204-1282) o el Gallo de Estrasburgo (1352).

Éste, que es el autómata más antiguo que se conserva en la actualidad, formaba parte del reloj de la torre de la catedral de Estrasburgo y al dar las horas movía las alas y el pico.



*Figura 2.
El gallo de Estrasburgo*

Durante los siglos XV y XVI alguno de los más relevantes representantes del renacimiento se interesan también por los ingenios descritos y desarrollados por los griegos. Es conocido el León mecánico construido por Leonardo Da Vinci (1452-1519) para el rey Luis XII de Francia, que se abría el pecho con su garra y mostraba el escudo de armas del rey. En España es conocido el Hombre de palo, construido por Juanelo Turriano en el siglo XVI para el emperador Carlos V. Este autómata con forma de monje, andaba y movía la cabeza, ojos, boca y brazos.



Jacques Vaucanson (1709-782), autor del primer telar mecánico, construyó varios muñecos animados, entre los que destaca un flautista capaz de tocar varias melodías y un pato (1738) capaz de graznar, beber, comer, digerir y evacuar la comida. El relojero suizo Pierre Jaquet Droz (17721-1790) y sus hijos Henri-Louis y Jaquet construyeron diversos muñecos capaces de escribir (1770), dibujar (1772) y tocar diversas melodías en un órgano (1773). Estos aún se conservan en el museo de Arte e Historia de Neuchâstel, Suiza. Contemporáneo de los relojeros franceses y suizos fue Henry Maillardet, quien construyó, entre otros, una muñeca capaz de dibujar y que aún se conserva en Filadelfia.

A finales del siglo XVIII y principios del XIX se desarrollaron algunas ingeniosas invenciones mecánicas, utilizadas fundamentalmente en la industria textil, entre las que destacan la hiladora giratoria de Hargreaves (1770), la hiladora mecánica de Crompton (1779), el telar mecánico de Cartwright (1785) y el telar de Jacquard (1801).

Jacquard basándose en los trabajos de Bouchon (1725), Falcon (1728) y del propio Vaucanson (1745), fue el primero en aplicar las tarjetas perforadas como soporte de un programa de trabajo, es decir, eligiendo un conjunto de tarjetas, se definía el tipo de tejido que se desea realizar. Estas máquinas constituyeron los primeros precedentes históricos de las máquinas de control numérico. Es a partir de este momento cuando se empiezan a utilizar dispositivos automáticos en la producción, dando paso a la automatización industrial [3].

ROBÓTICA

La robótica es una ciencia o rama de la tecnología, que estudia el diseño y construcción de máquinas capaces de desempeñar tareas realizadas por el ser humano o que requieren del uso de inteligencia. La robótica combina diversas disciplinas como son: la mecánica, la electrónica, la informática, la inteligencia artificial y la ingeniería de control además de otras áreas de importancia en robótica son el álgebra, los autómatas programables y las máquinas de estados.

Los robots pueden clasificarse de diferentes maneras. Una de las formas más comunes de ser clasificados es la determinada por su arquitectura. Cabe decir que pese a que la clasificación anterior es la más conocida, existe otra no menos importante donde se tiene más en cuenta la potencia del software en el controlador, lo que es determinante de la utilidad y flexibilidad del robot dentro de las limitantes del diseño mecánico y la capacidad de los sensores.

La clasificación según su arquitectura la resumiremos en la siguiente clave de clasificación, estando dividido en dos grandes grupos, los robots industriales y los robots de servicio [4]:

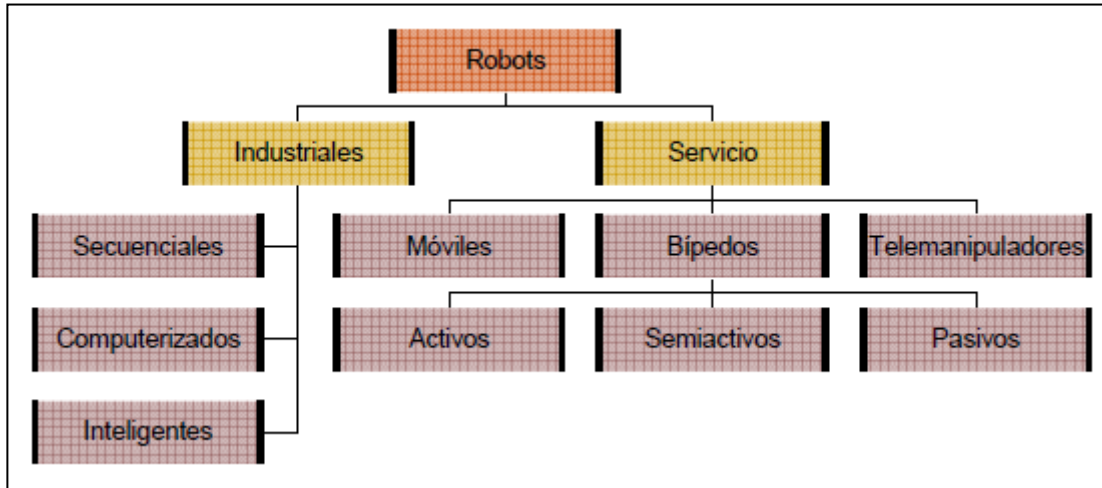


Figura 3. Clasificación de robots

Los robots bípedos, que son los más importantes para este proyecto, son aquellos en los que el movimiento del robot depende del movimiento de dos extremidades mecánicas a modo de piernas. Estos robots surgen del deseo de los humanos de construir máquinas que se asemejen a ellos y les sirvan de ayuda en sus labores cotidianas adaptándose lo más posible al entorno que hemos creado. Como se ha visto en la gráfica anterior, los robots bípedos se engloban en dos grandes grupos: los robots pasivos y los robots activos.

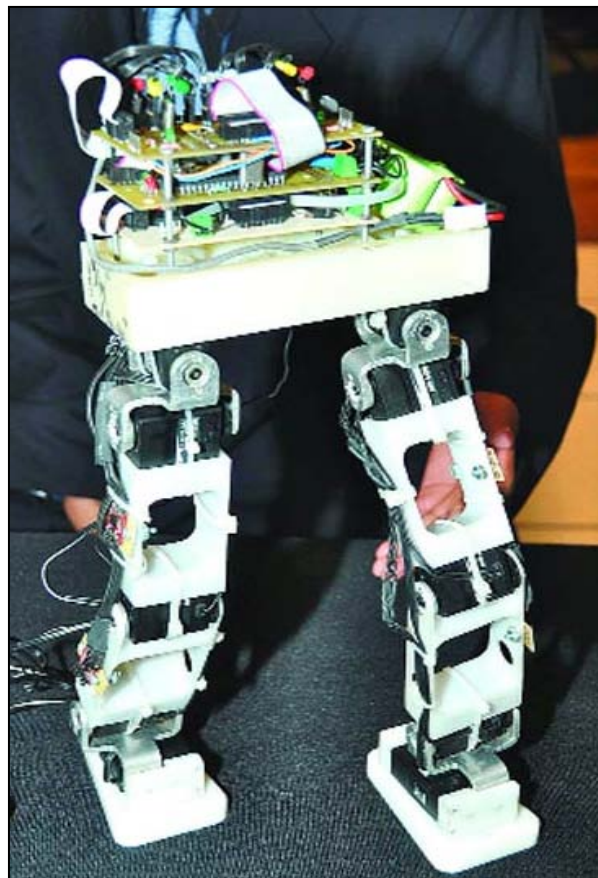


Figura 4. Robot bípedo



Los robots pasivos fueron cronológicamente los primeros. Estos sistemas mecánicos tenían como característica fundamental que podían caminar sin necesidad de control ni de ningún tipo de actuadores, es decir, que su movimiento era generado únicamente por la acción de la fuerza de la gravedad. Este era un modelo mecánico muy eficaz si tenemos en cuenta la relación eficiencia-energía que tenía. La principal ventaja de estos robots pasivos es que no requerían de energía externa para caminar, pero su desventaja radicaba principalmente en que su direccionalidad está limitada y era prácticamente imposible que estos robots subieran pendientes.

2.2 Revisión robot Pasibot

El mecanismo PASIBOT se puede descomponer en tres partes principales, que llamaremos:

- 1) Chebyshev
- 2) Pantógrafo
- 3) Estabilizador

Con el mecanismo de Chebyshev se convierte el movimiento circular de un motor eléctrico en un movimiento con un tramo recto y otro curvo [5].

En él se transfiere el movimiento de rotación pura de la manivela a un movimiento compuesto de la biela cuyo extremo realiza un desplazamiento rectilíneo aproximado. También es llamado con el nombre de mecanismo de línea recta de Hoekens.

La parte del movimiento que es recta será cuando un pie esté apoyado de forma total (toda su superficie en contacto con el suelo) mientras el pie inverso está en el movimiento elíptico el cual lo desplazará hacia delante para terminar con el pie apoyado. Ahora será este pie el que soporte el peso, en contacto con el suelo, habiendo un instante en que ambos pies se encuentran apoyados simultáneamente.



*Figura 5.
Mecanismo
Chebyshev*

El mecanismo del pantógrafo realiza la tarea de aumentar este movimiento e invertirlo [6].

Es la segunda parte principal del mecanismo del PASIBOT y es un mecanismo articulado basado en las propiedades de los paralelogramos; este instrumento dispone de unas varillas conectadas de tal manera que se pueden mover respecto de un punto fijo (pivote).

Las características del pantógrafo son las de tener dos a dos lados iguales paralelos entre sí.

Con este pantógrafo se logra aumentar e invertir el movimiento que generaba el mecanismo de Chebyshev. En la figura siguiente se aprecia claramente como el movimiento recto-curvo del “punto de referencia” del mecanismo de Chebyshev (en rojo) es invertido y aumentado al “punto de copiado” gracias al pantógrafo (en azul). El “pivote” es el punto fijo del pantógrafo.

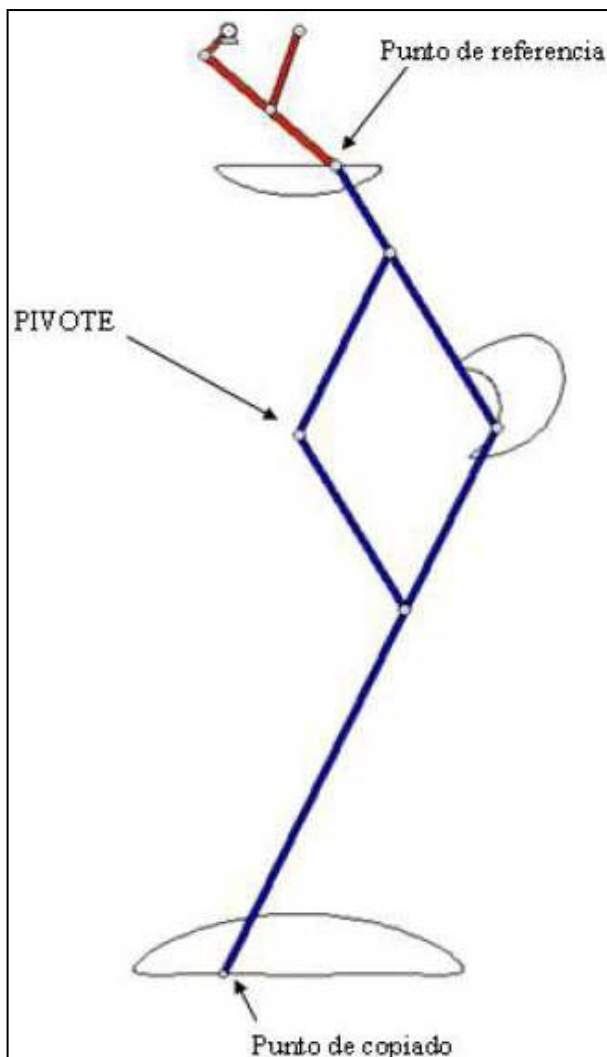
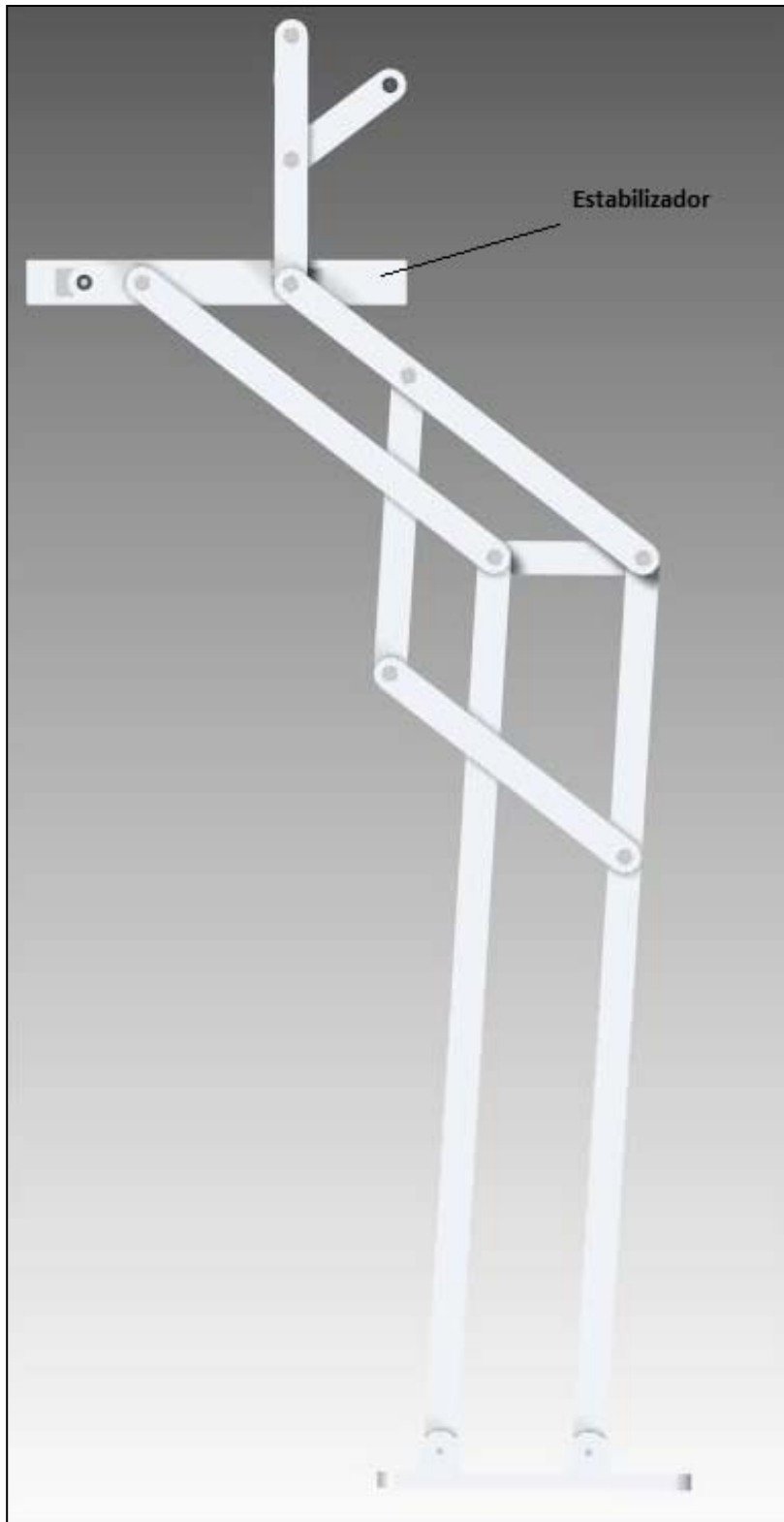


Figura 6. Pantógrafo



Por último, el estabilizador, que mediante el uso de una corredera en la cadera, y una disposición en paralelogramo, asegura que el pie apoyado esté paralelo a la superficie del suelo [7].



*Figura 7.
Estabilizador*



2.3 Fabricación de prototipos con impresoras 3D

Originalmente desarrollado en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) en 1993, la tecnología de impresión dimensional (3DP) es la base del proceso de creación de prototipos de Z Corporation [8].

3DP crea prototipos físicos por solidificación de las capas de los depósitos de polvo con un líquido. Por definición es un proceso extremadamente versátil y rápido con capacidad para crear geometrías de diversa complejidad en cientos de aplicaciones diferentes, y el apoyo a muchos tipos de los materiales. Z Corp. es pionero en el uso comercial de la tecnología 3DP, así como en el desarrollo de las impresoras 3D que los fabricantes líderes utilizan para producir los primeros modelos, conceptos y prototipos de productos.

Utilizando la tecnología 3DP, Z Corp. ha desarrollado impresoras 3D que operan sin precedentes en velocidades, costes muy bajos y dentro de una amplia gama de aplicaciones. A continuación se describe el núcleo de la tecnología y sus aplicaciones relacionadas.

Se aprovecha la tecnología de impresión 3D de origen de datos, que a menudo toma la forma de diseño asistido por ordenador (CAD). Las primeras aplicaciones para crear datos en 3D, paquetes mecánicos de software CAD, se han convertido rápidamente en el estándar para casi todos los procesos de desarrollo de productos. Otras industrias, tales como el diseño arquitectónico también han adoptado las tecnologías 3D, debido a las inmensas ventajas que ofrecen, incluyendo la visualización mejorada, mayor automatización y reutilización más rentables de datos 3D para una variedad de aplicaciones de gran importancia.

El software que gestiona las impresoras 3D [8] acepta todos los formatos de archivos 3D, incluyendo. stl. wrl. sfx. etc. Además de las aplicaciones principales en el diseño mecánico y arquitectónico, la impresión 3D se ha expandido a nuevos mercados, incluyendo el modelado médico, molecular, y geoespacial. Como el diseño y modelado en 3D con las tecnologías se ha vuelto más generalizado, se han creado un gran número de paquetes de software diseñados para el uso en industrias específicas. En la figura de abajo se muestra los paquetes de software 3D que son directamente compatibles con las impresoras 3D

SolidWorks®	Maya®	RapidForm™	3D Studio Viz®
Pro/ENGINEER®	SketchUp®	Alias®	Form Z®
CATIA®	RasMol	Raindrop GeoMagic®	VectorWorks
3D Studio Max®	Rhino®	Inventor®	Mimics

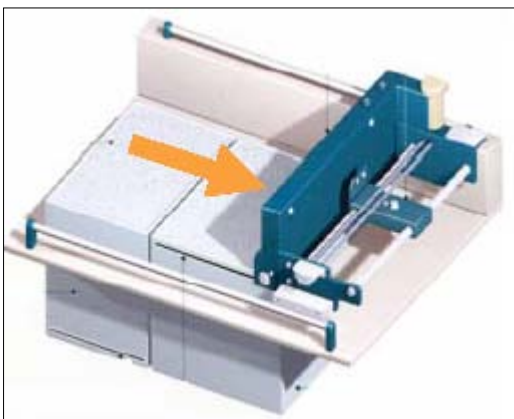
Figura 8. Software específicos.

Después de exportar un archivo de sólidos de un paquete de modelado en 3D, los usuarios pueden abrir el archivo en Zprint. Su función principal es cortar el objeto en secciones digitales o capas, creando una imagen 2D para cada 0.1016mm (0.004 "), rebanadas a lo largo del eje Z. Además de seccionar el modelo, los usuarios pueden hacer frente a otras opciones de producción, tales como la visión, orientación, escala, color, y el etiquetado de varias partes.

Cuando un usuario decide imprimir el trabajo, el software envía imágenes 2D de las secciones transversales a la impresora 3D a través de una red estándar, al igual que otro software envía imágenes o documentos en una impresora 2D estándar. La instalación dura aproximadamente 10 minutos.

Impresión 3D

Las impresoras 3D utilizan la inyección de tinta estándar para crear las capas de polvo. En lugar de alimentación de papel en los cabezales de impresión como una impresora 2D, una impresora 3D mueve los cabezales de impresión sobre un lecho de polvo en la cual se imprime los datos de corte transversal enviados desde el software. El sistema Z Corp. requiere polvo que se distribuye con precisión y de forma homogénea en la construcción de la plataforma. Las impresoras llevan a cabo esta tarea utilizando un pistón de alimentación que se eleva de forma incremental para cada capa. Un mecanismo de rodillos extiende el polvo alimentado desde el pistón de alimentación.



El exceso de polvo cae por un canal, hasta un recipiente para su reutilización en la próxima generación.

Figura 9. Impresora 3D

Un pistón bajará para construir la capa de 0.1016mm y una nueva capa de polvo se extiende en la parte superior, que se une a la capa anterior. ZPrint repite este



proceso para todas las capas de la pieza. El proceso de impresión en 3D crea un modelo físico exacto. El tiempo de procesamiento depende de la altura de la pieza o partes en construcción. Por lo general, las impresoras 3D tienen una frecuencia vertical de 25 mm - 50 mm (1" - 2") por hora.

Cuando el proceso de impresión en 3D se completa, el polvo suelto rodea a la cámara de construcción. Los usuarios pueden extraer la parte de la cámara después de construir los materiales, mientras que el polvo suelto vuelve de nuevo a la plataforma de alimentación para su reutilización. El usuario a continuación, utiliza aire a presión para quitar el polvo en exceso de la parte impresa, un proceso que no dura más de 10 minutos. La tecnología empleada no requiere el uso de soportes sólidos y todo el material utilizado es reutilizable.

Características

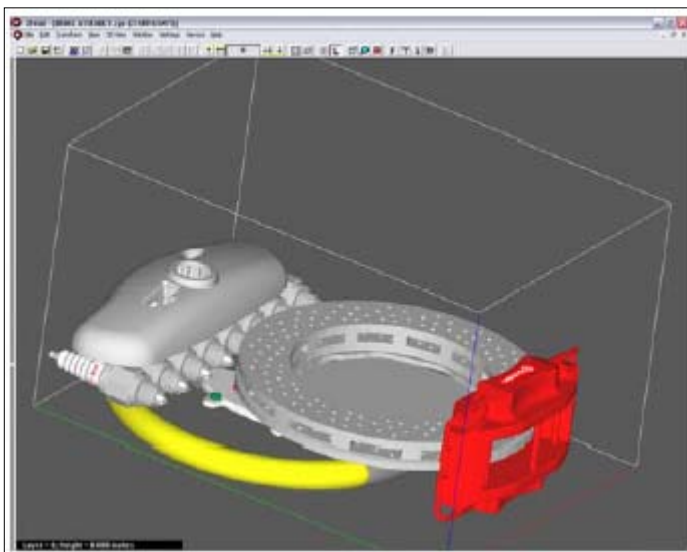
La impresión 3D es la tecnología más rápida de aditivos disponibles en el mercado. Estos sistemas se basan en procesos con una tecnología de chorro único. La tecnología de las impresoras permite la impresión de varias partes al mismo tiempo. La capacidad de apilar las capas dentro de la cámara de construcción permite un uso más eficiente del tiempo. En la impresión, sobre todo la impresión 3D, la exactitud de los modelos depende de la capacidad de reacción cuando y donde sea necesario.

El método utilizado para distribuir el material contribuye a la velocidad global del proceso de impresión 3D. Se utiliza un método de propagación para depositar más de 90 por ciento del material, que es extremadamente eficiente y rápido. Sólo un pequeño porcentaje de material se acumula en los cabezales de impresión. Otras tecnologías de prototipado aditivo depositan el material de construcción a través de una boquilla, lo que resulta velocidades de impresión muy lentas y largos tiempos de entrega de prototipos.

La inyección de tinta contribuye de manera fundamental a una mayor velocidad, aunque hay varias razones por las cuales los sistemas de Z Corp. son más rápidos. Los procesos del software ZPrint de datos avanzan en paralelo con la impresión de la pieza. Mientras que se trabaja en los depósitos de la impresora 3D de la primera capa, el software realiza rebanadas. Algunas tecnologías de procesos aditivos realizan todas las rutas de la herramienta antes de que comience el trabajo. Aunque el tiempo de procesamiento puede parecer rápido, a menudo es sólo una fracción del tiempo total que se necesita para construir la

pieza. En realidad, se pueden necesitar hasta una hora para preparar un trabajo con múltiples partes utilizando algunas tecnologías de aditivos.

Las impresoras 3D permiten el apilamiento de partes verticalmente, ya que no requieren de estructuras de apoyo. La producción de piezas con otros tipos de tecnologías requieren soportes de la estructura a lo largo del eje vertical, lo que limita la capacidad de apilar las piezas. En este caso, los usuarios pueden utilizar toda la superficie para construir y producir piezas múltiples con sólo un procedimiento de configuración, reduciendo aún más el número total de generaciones y el tiempo de procesamiento.



*Figura 10.
Cubeta con piezas para imprimir*

Las impresoras 3D producen modelos en color. Lo que se hace es aplicar la metodología 2D de inyección de tinta de color a la impresión 3D. Al imprimir imágenes de 2D, los ordenadores convierten los valores RGB (rojo, verde, azul y los colores que aparecen en el monitor) en colores CMYK (Cyan, Magenta, Amarillo y Negro).

Por lo general, una impresora color de escritorio 2D tendrá un cabezal con tres canales de color, CMY, y otro para el negro, K. En el uso de estas cuatro tintas, la impresora combina varios puntos en cada píxel impresos para crear la apariencia de miles de colores. El mismo principio se aplica a las impresoras 3D utilizando cuatro carpetas de color: cian, magenta, amarillo y transparente, para imprimir los colores en el exterior de la pieza.

El software comunica la información de los respectivos colores a la impresora dentro de los datos de división. La impresión 3D produce prototipos con los

mismos colores que el producto real. Los usuarios también pueden utilizar el color para representar los resultados de los análisis directamente en el modelo o para anotar los cambios de diseño mejorando aún más el valor de la comunicación del modelo.



Figura 11. Ejemplo modelado.

Estos ejemplos de modelos de color muestran las aplicaciones creativas y significativas para la impresión en color 3D incluyendo el etiquetado del producto, el análisis topográfico, y la planificación de la producción.



Figura 12. Ejemplos de modelos de color.

Mientras que el color puede ser una herramienta esencial de comunicación, muchos paquetes de software 3D no proporcionan una forma sencilla de producir archivos 3D que incluyen los datos de color. Para hacer frente a este problema, se



desarrolló el software ZEdit, programa que facilita la adición de datos de color de archivos 3D. Es una herramienta para colorear, marcar y etiquetar. Dicho software trabaja con archivos de cualquiera de los paquetes de software 3D.

Z Corporation introdujo por primera vez impresión 3D de alta resolución en 2005. El concepto HD3DP es el resultado de una combinación de la tecnología de cabezal de impresión, el progreso material, y el diseño mecánico. Están constituidos por cabezales de inyección de tinta, con capacidades alta resolución, siendo el resultado de años de investigación. Se aprovecha los recursos de ingeniería en los cabezales para el control de la impresión durante el proceso, dando exactitud y precisión al depósito de la carpeta de color en las áreas indicadas por el software ZPrint.

Además las impresoras 3D controlan el movimiento de la cabeza de impresión cuando se le coloca muy cerca del polvo, produciendo muy pocos residuos. El polvo sin estampar rodea y apoya a las piezas durante la impresión. Los usuarios pueden reutilizar todo el polvo de apoyo que no haya sido utilizado. Otros procesos requieren de estructuras de apoyo para soportar geometrías complejas durante el proceso de impresión, desprendiéndose de estas estructuras de apoyo después de su uso, aumentando significativamente el coste en cuanto a material se refiere.

Estas impresoras son confiables y fáciles de usar, con bajos costes de operación. El diseño y la tecnología estándar de inyección de tinta de impresión se combinan para producir un sistema fiable que es sencillo de operar y fácil de mantener. El uso de una cabeza "off-the-shelf" de impresión permite el reemplazo barato y rápido. La aplicación de técnicas de diseño electrónico en la impresora en el mantenimiento de componentes hace que las impresoras sean eficaces aún con un mínimo tiempo de actividad, reduciendo aún más los costes.

Los materiales utilizados son no tóxicos, absolutamente seguros y no requieren entornos especializados para operar como un laboratorio o una tienda. Los usuarios pueden operar con las impresoras 3D en una oficina y no en un espacio designado. Debido al software intuitivo y simple, ZPrint, se puede operar de manera eficiente, eliminando la necesidad de un operador para la máquina. Su tecnología es fiable y permite que funcione sin atención durante el proceso de impresión, reduciendo la presencia del usuario a la sencilla configuración, que generalmente necesitan menos de una hora.

El enfoque inicial y la visión de la compañía era producir una impresora 3D conceptual y para la visualización de modelos. Como la adopción de la impresión 3D creció, el número de aplicaciones de impresión 3D se ha convertido en



excepcionalmente versátil debido a la flexibilidad innata de sus mecanismos de entrega. El proceso de unión de polvo suelto y que se solidifique en partes es compatible con muchos tipos de materiales.

Mientras que la impresora 3D sigue siendo exactamente la misma, los usuarios pueden cambiar la construcción de material para producir piezas con una amplia gama de propiedades de los materiales para cumplir con diversos requisitos. Z Corp. ofrece cinco materiales y continúa desarrollando otros materiales para proporcionar mejoras de rendimiento para aplicaciones adicionales. Se puede seleccionar otros materiales según las necesidades de la aplicación.

El más utilizado de los materiales de alto rendimiento es el material compuesto, que permite realizar piezas a color en la plataforma 3D de 600 ppp. La gran resolución y excelente resistencia, hacen que este material sea adecuado para aplicaciones que van desde el concepto de modelado a los patrones arena de fundición a presión.

Se trata de un yeso con numerosos aditivos que maximizan su acabado superficial, la resolución de función y la fuerza.

Este material es ideal para:

- Alta resistencia.
- Piezas de paredes delgadas.
- Impresión en color.



Figura 13. Representación precisa del diseño.

A continuación se exponen diferentes tipos de materiales también muy utilizados:

Material “Direct Casting Metal”



Este material es una mezcla de arena de fundición, yeso y otros aditivos que, al combinarse producen moldes con buenos acabados superficiales. Los usuarios de este proceso puede crear prototipos de piezas de fundición, pudiendo soportar el calor necesario para producir metales.



*Figura 14.
Ejemplo de material Direct Casting
Metal*

Material “Investment Casting”

Fabrica piezas de fundición sin restricciones geométricas. El material consiste en una mezcla de celulosa, fibras especiales y otros aditivos que se combinan para proporcionar una parte precisa, aumentar al máximo la absorción y reducir al mínimo los residuos durante el proceso. Los usuarios utilizan este proceso para crear piezas de fundición de alta calidad con excelentes acabados superficiales en industrias.

Material “Snap-Fit”

Crea piezas con material similar al plástico, con propiedades de flexión, que son ideales para aplicaciones a presión. El usuario puede utilizar este material para crear piezas de plástico que encajen en los otros componentes y ensamblajes.

Material elastomérico

Crea piezas con propiedades similares al caucho.

Este sistema material consiste en una mezcla de celulosa, fibras especiales y otros aditivos.



Los usuarios utilizan material elastomérico para producir piezas de precisión y que da propiedades similares al caucho.



Figura 15. Material elastomérico

Una de las ventajas importantes de los sistemas de impresión en 3D es el conjunto de propiedades de los materiales. Ofrece a los usuarios una mayor versatilidad sin tener que cambiar las materias primas en la impresora 3D. La estructura impresa es una matriz porosa pero fuerte.

El Software de Z Corporation

El software utilizado [8] en la impresora consta de dos partes, una parte dedicada a la impresión y otra parte en la que podemos editar de diversas formas las piezas que queremos imprimir.

Software “Zprint”

En la parte de impresión, nos permite hacer una serie de acciones como:

- Preparar el archivo CAD3D para su impresión en 3D.

- Muestra una vista 3D de la cubeta. Permite escalar y girar las piezas.

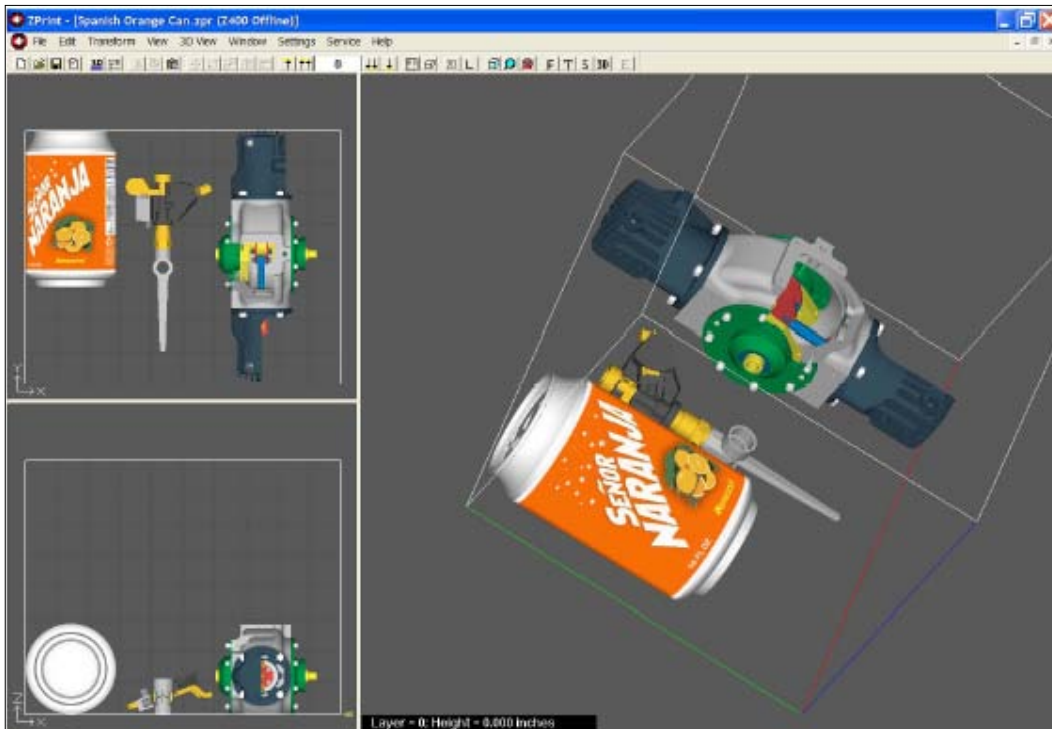


Figura 16. Cubeta para impresión 3D.

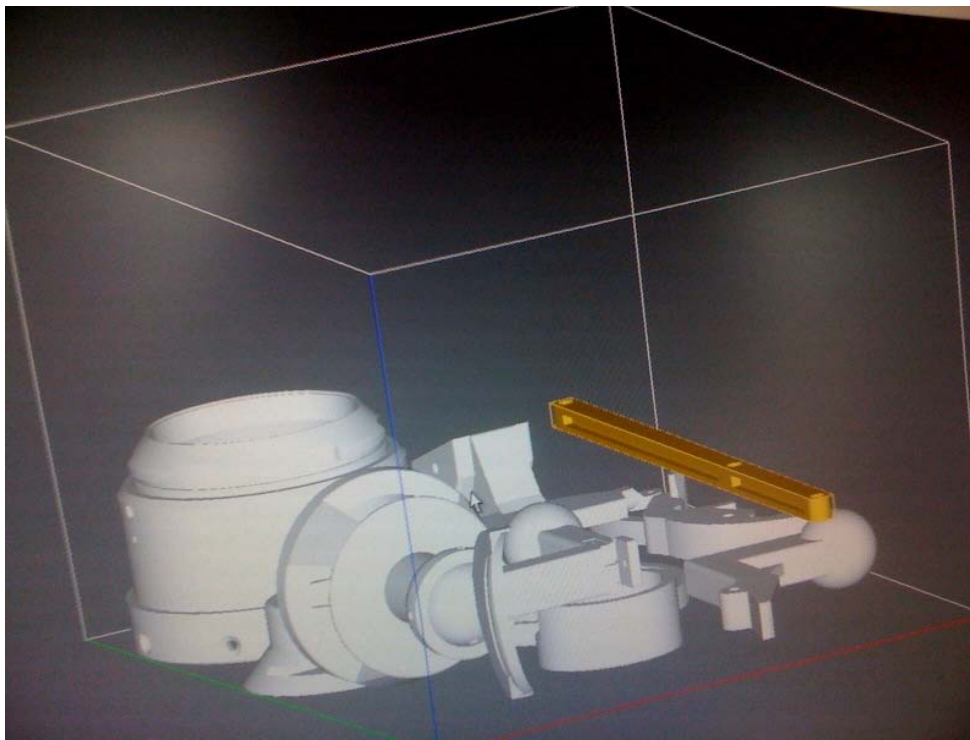


Figura 17. Cubeta para impresión.



- Importar mapas de texturas. Es muy útil para GIS, FEA y ensamblajes. El formato .stl es monocromo.
- Importar varias piezas a la vez y colocarlas en la cubeta para su impresión simultánea.
- Proporciona el tiempo estimado de impresión y controla que haya suficientes consumibles para completarla.
- Interfaz fácil de usar.

Software “Zedit”

Entre las funciones de este software se encuentran:

- Añadir color a piezas en monocromo.



Figura 18. Ejemplo al añadir color.



Figura 19. Ejemplo al añadir color (2)

- Es muy útil para GIS, FEA y ensamblajes.



Figura 20. Ejemplo coloreado pieza.

- El formato VRML permite importar mapas de texturas.

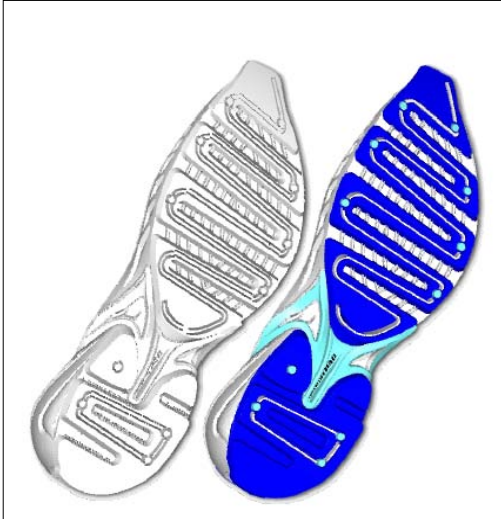
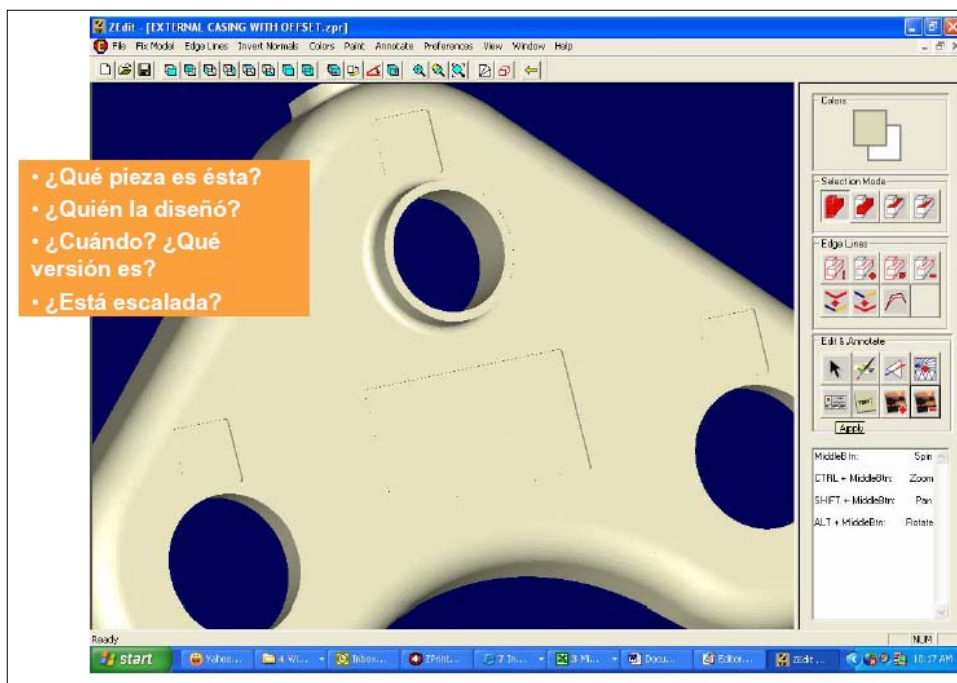


Figura 21. Otro ejemplo de coloreado de la pieza.

- Aplica imágenes y logotipos a las piezas.
- Permite etiquetar las piezas y marcarlas con anotaciones como fechas de revisión, aviso de modificaciones, etc.



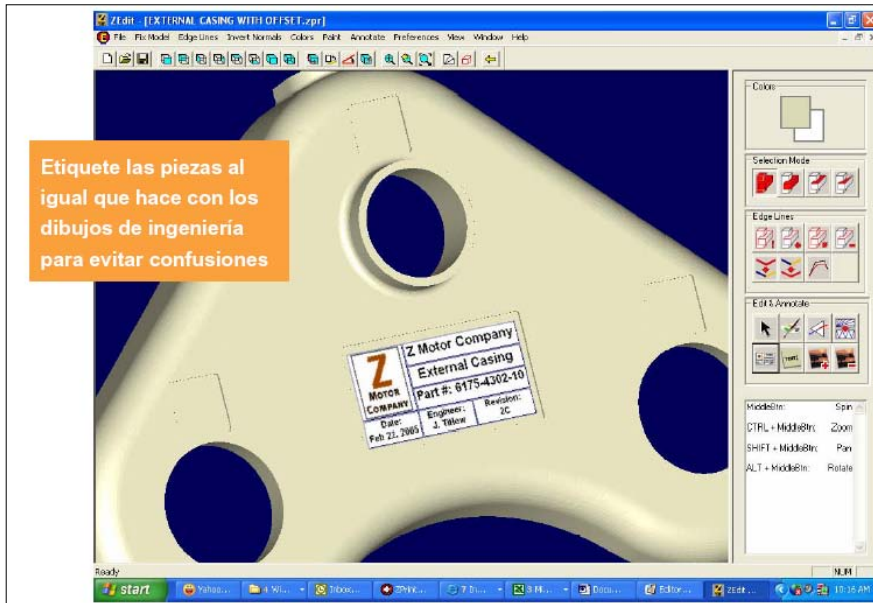


Figura 22. Etiquetado de piezas.

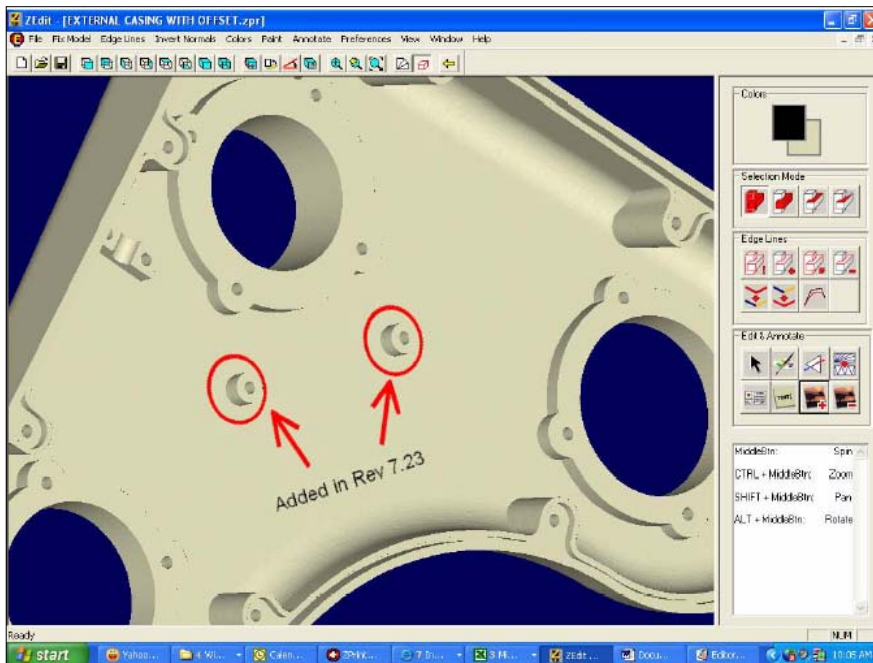


Figura 23. Ejemplo de anotaciones.

- Permite seleccionar fuente y tamaño.
- Contiene plantillas de etiquetas de datos de ingeniería.

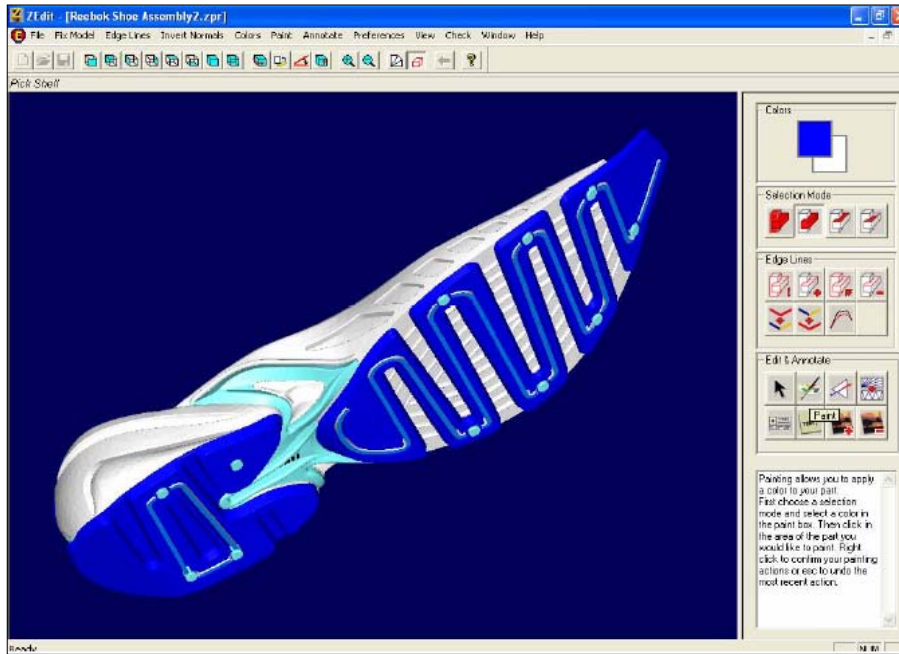


Figura 24. Interfaz fácil de usar.

La impresora que se ha utilizado para obtener las piezas del Pasibot ha sido la impresora Spectrum z 510, que se encuentra en el parque científico propiedad de la Universidad Carlos III.

La impresora se caracteriza por:



- **Producción en alta definición**

Gran precisión en las piezas, mejora el acabado de la superficie. La buena resolución permite producir prototipos de alta definición casi de la misma calidad que la pieza terminada en el escritorio.



- **Modelos a todo color**

Alta fidelidad. La capacidad de color de 24-bit permite producir modelos a todo color para mejorar la presentación de los ensambles y mejorar el nivel de ingeniería.



- **Rápido**

El volumen de construcción y la velocidad permite maximizar la producción de impresiones en 3D, pudiendo producir y evaluar las piezas que se necesitan.

Los prototipos tridimensionales de alta calidad son críticos para poder llevar a cabo metas en cuanto a ingeniería y negocios se refiere. Con piezas 3D de alta definición se puede comunicar eficientemente y evaluar diseños de conceptos a través del desarrollo de un producto, así como mejorar la comunicación en el diseño permite minimizar los ciclos de diseño, la estrategia de fabricación, acortar el tiempo de producción de un nuevo producto e innovar nuevos productos.

La impresora tridimensional a color modelo Spectrum Z-510 produce prototipos de alta definición a todo color rápida y eficientemente. La tecnología de impresión por inyección crea piezas con rasgos limpiamente definidos, mejora la exactitud y color preciso, de tal forma que se puede imprimir y evaluar modelos físicos y diseños de conceptos en un estado casi final. Esta impresora produce modelos que reflejan con exactitud la información de su diseño original. Los modelos a color comunican mas información que cualquier otro tipo de prototipo rápido, brindándole una ventaja estratégica en el desarrollo de productos. Las funciones del software maximizan los beneficios del color mediante texturas.



Figura 25. Impresora 3D

Proceso de impresión 3D con el sistema de Spectrum Z 510

Primeramente, se extiende el material en la cubeta gracias a un rodillo. Se preparan los cabezales de impresión y se va solidificando la pieza, comenzando por la sección transversal de la misma. Se va bajando el pistón y se van creando

nuevas capas hasta llegar a la parte final de la cubeta, obteniendo la pieza terminada.

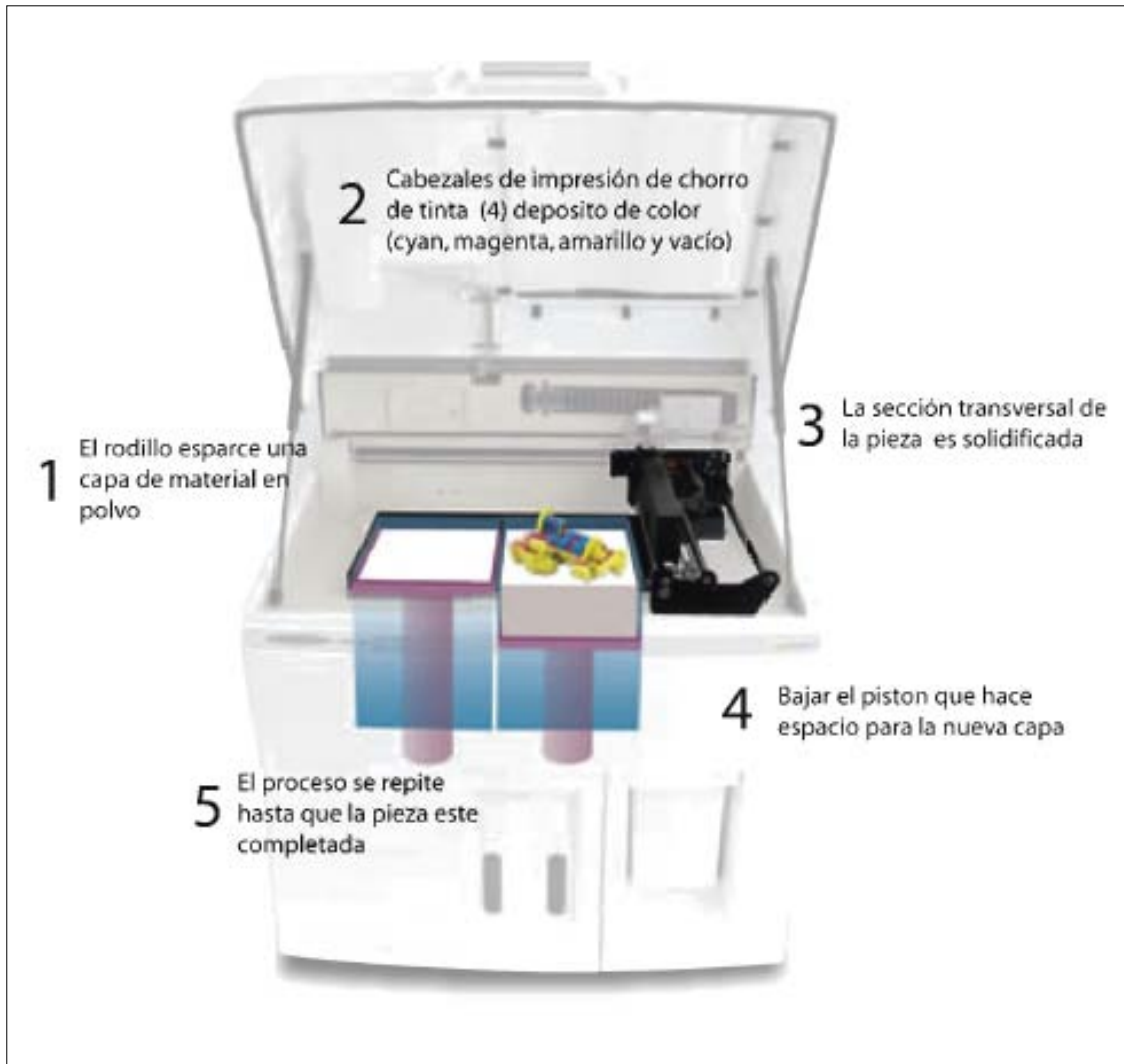


Figura 26. Pasos del proceso de impresión.

3. DISEÑO MECÁNICO

3.1 Listado de piezas

A continuación se analizan todas las piezas modeladas en el software SOLID EDGE ST que constituyen el Pasibot desde un punto de vista de diseño.

- CADERA

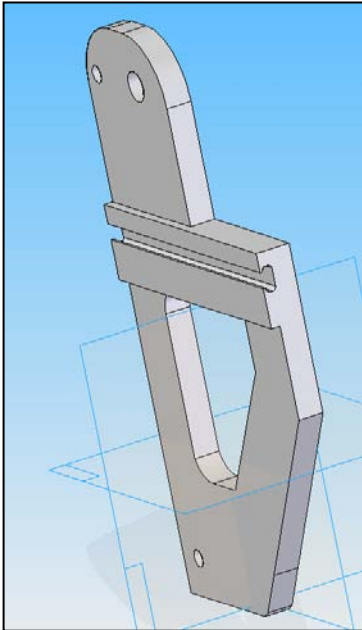


Figura 27. Cadera

Se ha realizado una protrusión con el perfil de la cadera. Finalmente se le añadió una nueva extrusión en la parte externa de la pieza con el perfil que se muestra en la figura, donde irá la deslizadera.

- BIELA, BALANCÍN

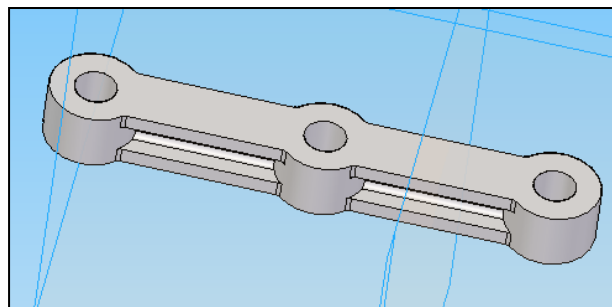
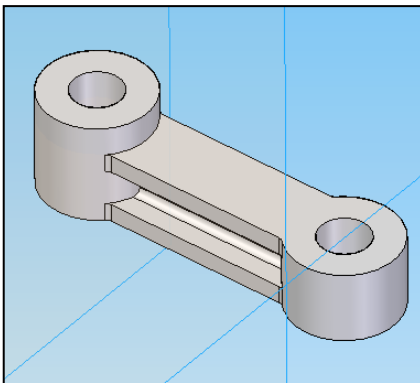
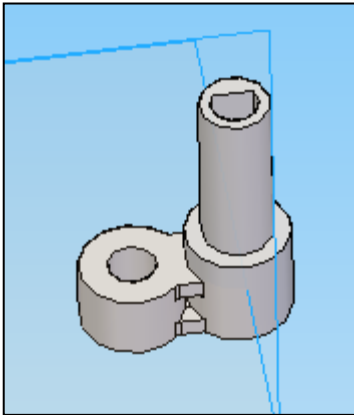


Figura 28. Biela y balancín

Tanto la biela como el balancín son piezas semejantes desde el punto de vista de diseño. Se dibuja el perfil de ambas, y finalmente se le da un espesor de 10 mm a la protrusión. En todas las piezas donde haya agujeros, correspondientes a las juntas del Pasibot, han sido reforzadas con una nueva protrusión circular de 15 mm de diámetro.

- MANIVELA



*Figura 9.
Manivela*

Se ha realizado con dos protrusiones circulares en distintos planos, vaciados para los agujeros de las juntas, los correspondientes vaciados laterales (presentes en todas las piezas que forman la extremidad del Pasibot) y un vaciado semicircular en uno de sus extremos.

- ADAPTADOR

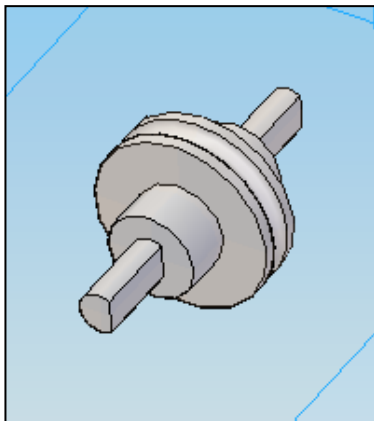


Figura 30. Adaptador

Fue modelado por una protrusión por revolución y un vaciado en sus extremos, cuyo perfil es el mismo que el de la manivela.

- SEPARADORES

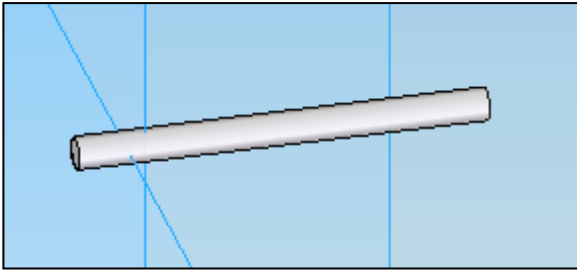
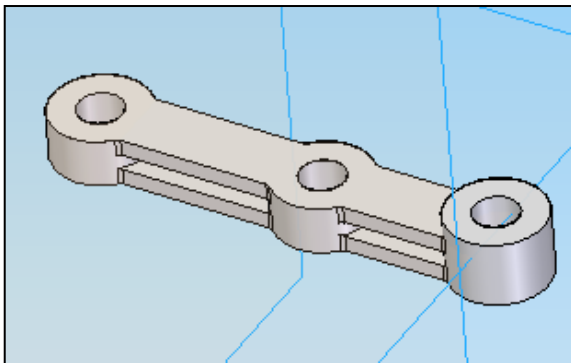


Figura 31. Separador

Diseñado en un solo paso, con un perfil circular.

- ESTABILIZADOR



*Figura 32.
Estabilizador*

- TENDÓN SUPERIOR E INFERIOR

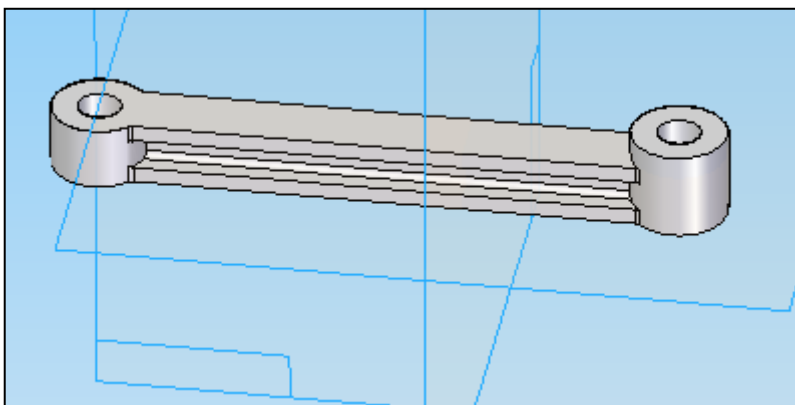


Figura 33. Tendón

Protrusión del perfil solicitado, con su correspondiente vaciado lateral y engrosamiento en los agujeros.

- RODILLA

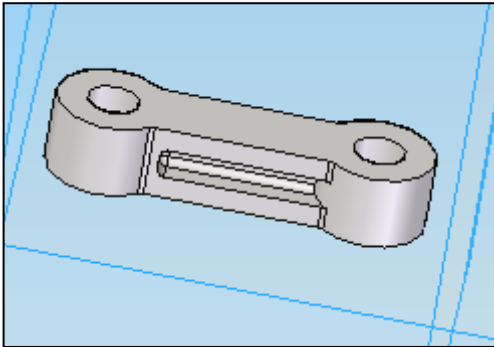
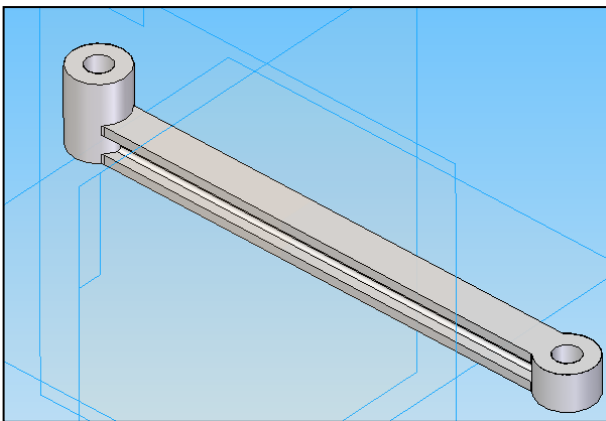


Figura 33. Rodilla

Diseñada de dos pasos, definición del perfil y vaciado lateral.

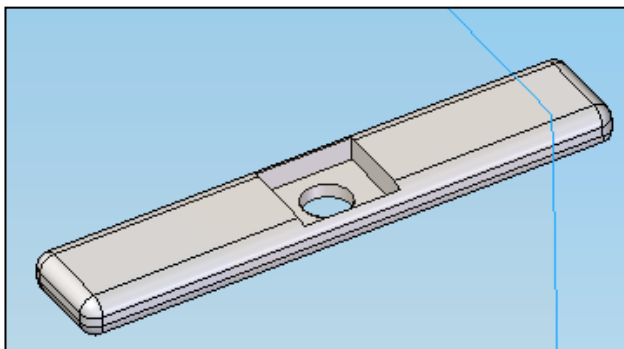
- FÉMUR, CONTRAFÉMUR, TIBIA, PERONÉ



*Figura 34.
Fémur, tibia y peroné.*

Realizadas en dos partes, la protrusión con el perfil requerido y el vaciado correspondiente. Si tiene los separadores integrados, se realiza una protrusión adicional

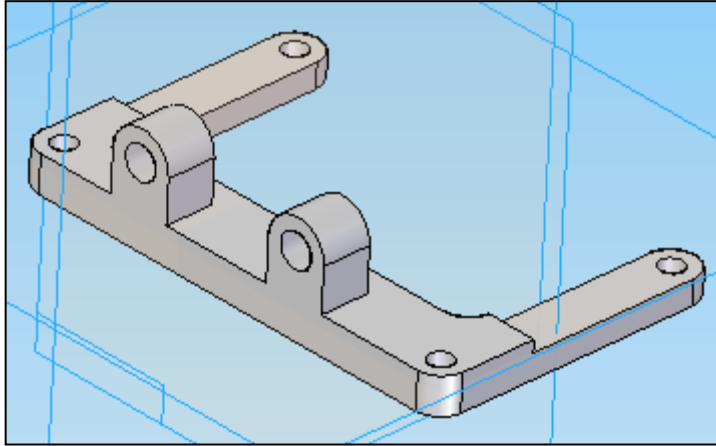
- DESLIZADERA



*Figura 35.
Deslizadera*

Fue diseñada a partir de una protrusión inicial, seguida de un vaciado lateral con forma de cuadrado, y finalmente, redondeos en las aristas de la pieza.

- PIE



*Figura 36.
Pie*

El pie fue modelado en tres partes. En la primera se realiza con el perfil de la pieza. Las dos operaciones siguientes son vaciados, uno para los agujeros de las juntas y el otro para rebajar material de un extremo y evitar el choque con la tibia y peroné.

Todas las cotas de cada una de las piezas que conforman el Pasibot están detalladas en los planos adjuntos al final del proyecto, en el anexo del capítulo 7.

3.2 Cálculo del par del motor

Con el modelo propuesto, teniendo en cuenta las dimensiones y pesos de todos los eslabones, se ha realizado un cálculo del par del motor que necesitaría el prototipo para caminar.

Dicho cálculo fue realizado utilizando un programa desarrollado en el proyecto fin de carrera de Eduardo Corral [2] del grupo de MaqLab del Departamento de Ingeniería Mecánica de la UC3M.

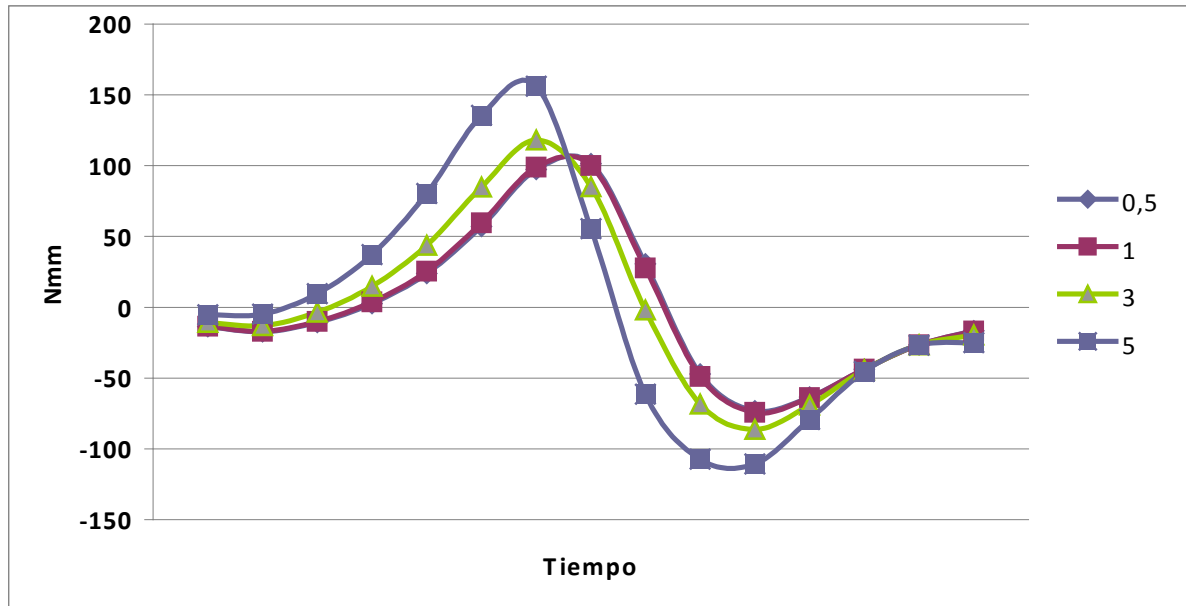


Figura 37. Curva par motor

w(rad/s)	1	2	3	4	5	6
0,5	-13,693	-17,331	-10,672	2,6008	23,764	57,173
1	-13,438	-16,952	-10,06	3,6518	25,482	59,545
3	-10,724	-12,91	-3,5303	14,863	43,809	84,851
5	-5,2965	-4,8254	9,5287	37,284	80,462	135,46

7	8	9	10	11	12	13	14
97,248	101,36	30,559	-47,11	-73,077	-63,441	-43,646	-26,596
99,032	99,966	27,774	-48,934	-74,214	-63,921	-43,695	-26,602
118,06	85,114	-1,9374	-68,392	-86,348	-69,035	-44,222	-26,663
156,13	55,412	-61,36	-107,31	-110,62	-79,262	-45,275	-26,785

Figura 38. Datos del par según posición de la manivela.

En la gráfica se puede ver que el par alcanza un valor máximo absoluto de unos 150 Nmm, cuando la manivela se mueve a una velocidad de unos 5 rad/s.

En general, en las tres gráficas de las tres velocidades se observa un punto máximo que coincide cuando la manivela, y en consecuencia el Pasibot, están en la posición de la siguiente figura.

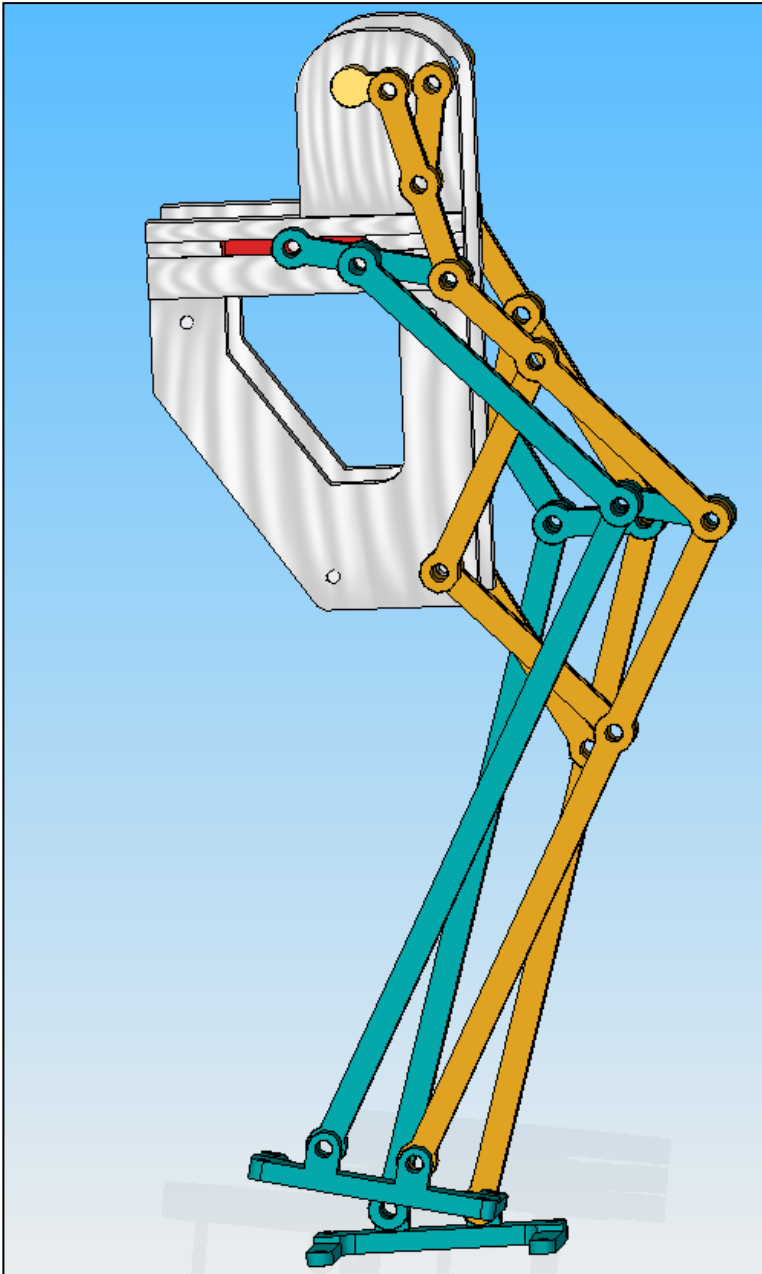


Figura 39. Posición de par máximo.

Por lo tanto, el motor seleccionado debe poder desarrollar un par superior a ese valor máximo, que sea capaz de mover la manivela en ese momento.

Se considera que una velocidad adecuada para el caminar del bípedo puede ser entorno a 2-3 rad/s, es decir, próximo a la gráfica verde (triángulos).

El par máximo en este caso sería de unos 118 Nmm.



4. FABRICACIÓN

El proceso de fabricación de las piezas está constituido por las siguientes fases:

Primeramente, se prepara el polvo en la cubeta (el polvo utilizado es denominado ZP151). Una vez que el polvo está listo, se pasa a la introducción de las piezas a través del software específico de la impresora.

Para que la impresora reconozca las piezas, estas deben estar en formato VRML o STL.

En las primeras, se selecciona el color del que se hayan hecho las piezas originales. En el segundo caso, se tiene que seleccionar el color directamente en la impresora.

A continuación se observan las piezas en la cubeta, su colocación y orientación. Cuando todo está listo, se procede a la fabricación de las mismas.

Cuando se ha finalizado el proceso en la impresora, se extraen las piezas con mucho cuidado, ya que en este momento son muy débiles y poco resistentes. La retirada del polvo sobrante se realiza con una espátula preparada para ello.



Figura 40. Retirada de las piezas.



Figura 41. Extracción de pieza.



Posteriormente, habiendo ya sacado las piezas, se procede a la retirada de polvo de las mismas, principalmente en los agujeros y vaciados. Esta operación se lleva a cabo gracias a un pincel o a una aspiradora, mostrada en la figura.



Figura 42. Aspirador de polvo.

Esta aspiradora funciona con aire a presión. La operación se hará dentro de un puesto habilitado para ensuciar lo menos posible, dentro del cual hay un aspirador para succionar el polvo.



Una vez obtenidas las piezas, se procede a aplicarlas con un pincel una mezcla preparada previamente, para aumentar su dureza y resistencia. Dicha mezcla consta de resina epoxi (100 partes) y endurecedor (45 partes).



Figura 43. Aplicación de epoxi con un pincel.

El tratamiento superficial se realiza en este caso con epoxi, pero se pueden utilizar otras composiciones resumidas en la siguiente tabla:

	TRATAMIENTO		
	Agua + sal	Cianocrilato	Epoxi
Dureza	Baja	Medio	Muy alta
Coste	Muy bajo	Medio	Alto

Figura 44. Posibles tratamientos superficiales

La resina epoxi es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor. Las resinas epoxi más frecuentes son producto de una reacción entre bisfenol-a y la epiclorohidrina. El bisfenol-a se obtiene de fenol y acetona. Las resinas epoxi están constituidas comúnmente de dos componentes que se mezclan previamente antes de ser usados, al mezclarse reaccionan causando la solidificación de la resina, su curado se realiza a temperatura ambiente. Durante ese secado se forman enlaces cruzados lo que hace que su peso molecular sea elevado.

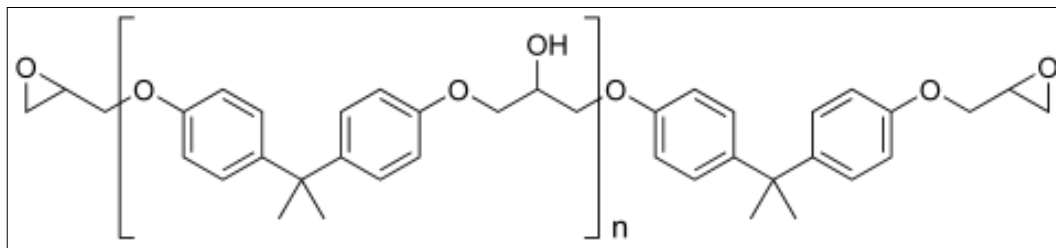


Figura 45. Epoxi

Los adhesivos epoxi son adhesivos reactivos bicomponentes que fraguan por reacción química entre una resina epoxi y un endurecedor, al mezclarse los dos componentes, en nuestro caso 100 por 45 respectivamente. Los adhesivos epoxi se caracterizan por poseer excelente resistencia a los agentes químicos, al calor y a la humedad, además de gran resistencia a rotura en tracción y cizalla. Es común



utilizarlos en la industria aeronáutica y aeroespacial, en la fabricación de coches, bicicletas, esquíes. Sirven para adherir gran cantidad de materiales, incluidos algunos plásticos, y se comercializan rígidos o flexibles, transparentes o de color, de secado rápido o lento.

Si el secado de un adhesivo epoxídico se realiza con calor, será más resistente que si se seca a temperatura ambiente.

En piezas con gran grosor es muy complicado que el mezclado de epoxi penetre hasta su interior, por lo tanto, el polvo interno no es de mucha utilidad. Dicho esto, podemos decir que ha sido un acierto el haber hecho vaciados en las piezas, ahorrando material, disminuyendo su peso y no sólo eso, sino que permite al epoxi penetrar en casi la totalidad de la pieza.

5. PUESTA EN MARCHA

5.1 Elementos de unión

Para el apartado del montaje real, una vez impresas las piezas, se necesitan elementos de unión y fricción, que hagan que las piezas creadas por la impresora 3D se puedan articular unas con respecto a otras, siguiendo el movimiento del Pasibot y ejerciendo una resistencia mínima entre ellas. Finalmente se fijarán las articulaciones con tornillos y tuercas para facilitar el montaje y desmontaje y garantizar el movimiento.

El primer problema a resolver, como se ha indicado, será la definición de las articulaciones. Para ello, utilizamos casquillos de fricción de $d_{ext}=8$ mm (figura 35), que encajan en el agujero de la pieza. Para que esto fuese así, hicieron falta retaladrar los alojamientos de los casquillos. El diámetro interior de dichos casquillos será $d_{int} = 5$ mm que es el diámetro de tornillo de Nylon que fijará ambas piezas. En un extremo del mismo se colocará una tuerca de M5 en el espacio diseñado para ello.

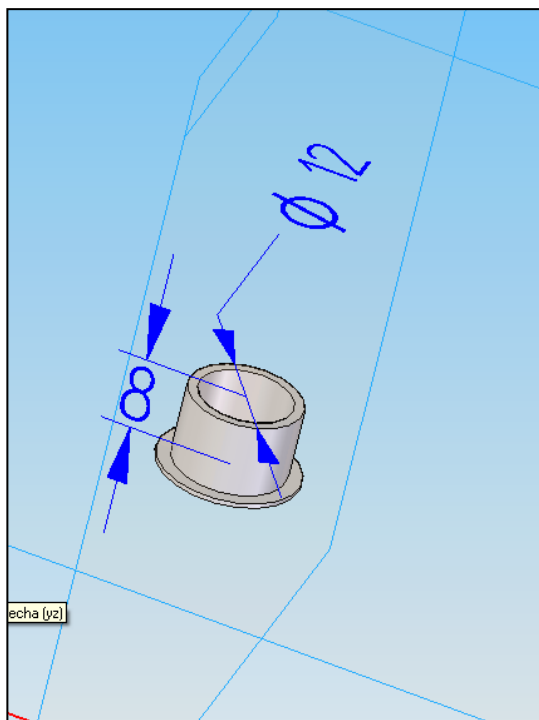


Figura 46. Casquillo



Figura 47. Foto tornillo de Nylon



Figura 48. Foto de casquillos con y sin ala



5.2 Montaje

Una vez resuelto el tema de la fijación, tendremos que ver cómo resolver el de la fricción.

Para disminuir dicha fricción y que durante el movimiento del robot no exista contacto directo de pieza con pieza, utilizamos los denominados casquillos con ala, que son iguales que los casquillos tradicionales, pero con una especie de “aleta” en un extremo del mismo. Esta aleta se colocará entre una pieza y otra, resolviendo nuestro problema.

En un primer momento se pensó utilizar tanto casquillos como tuercas de metal, pero era conveniente emplear otro tipo de material mucho más ligero como el Nylon. El principal motivo era el peso, ya que las piezas del Pasibot sacadas de la impresora son muy ligeras en comparación con los tornillos y casquillos de metal.

Si finalmente hubiéramos utilizado estas piezas metálicas, el Pasibot en su conjunto hubiera sido más pesado, es decir, que el par necesario que hay que transmitir a la manivela para que el robot se mueva sería mucho mayor, y por lo tanto, sería necesario un motor más potente y costoso.

Una vez seleccionados tanto los casquillos como los tornillos y tuercas, se comienza a ensamblar el Pasibot.

5.3 Problemas encontrados

Una vez que se han diseñado, fabricado y se ha procedido al montaje del robot, observamos que existen numerosos problemas. Dichos problemas tienen como origen el diseño de las juntas y el material utilizado, como consecuencia, se impide el movimiento del Pasibot y las holguras son muy grandes.

INCONVENIENTES DEL PRIMER PROTOTIPO

A continuación se enumeran los inconvenientes que nos encontramos una vez terminado el montaje:

- Las juntas entre casquillo y tornillo tienen grandes holguras, debido a un montaje que se puede optimizar.

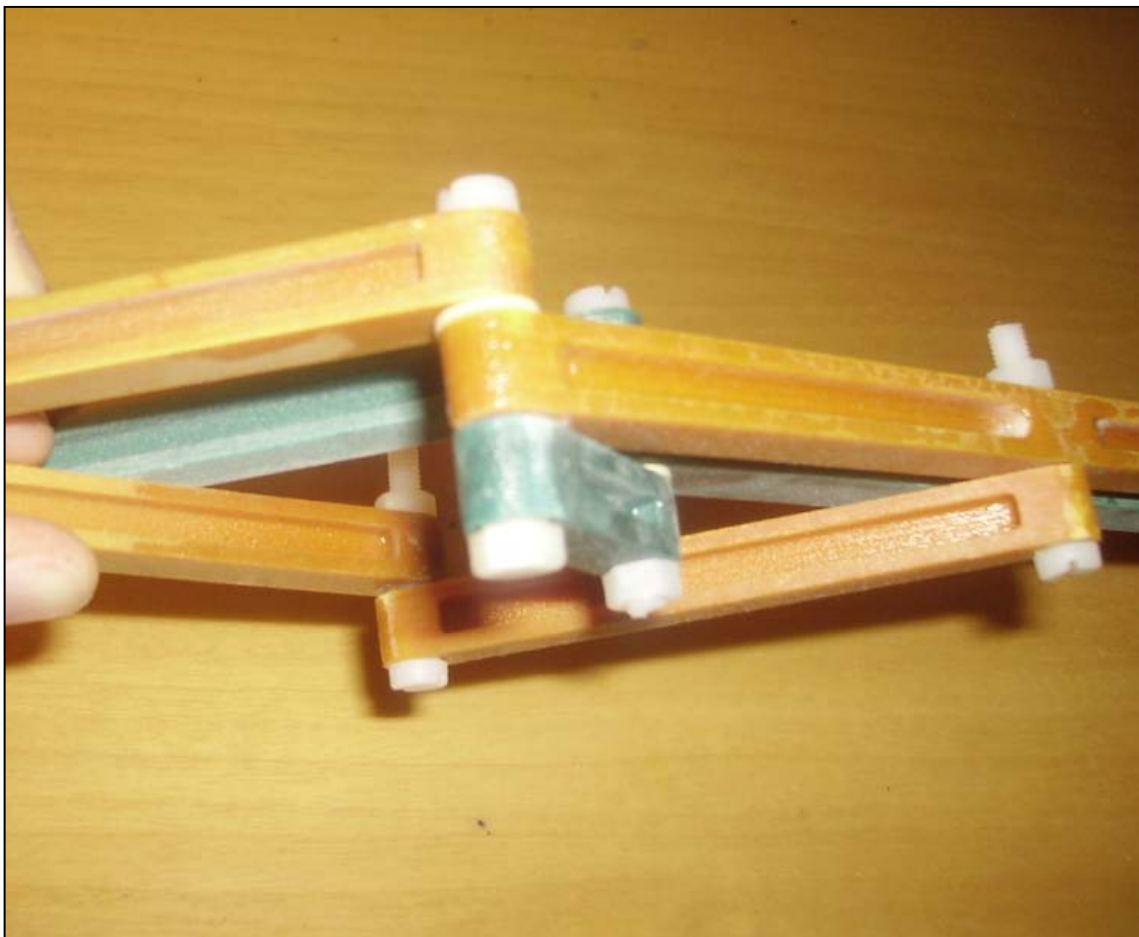


Figura 49. Ejemplo de junta.



Figura 50. Juntas con tornillos de nylon.



Figura 51. Junta de la rodilla.



- La doble corredera (de 2 gdl) no ha funcionado como se previó. La corredera que desliza verticalmente en la cadera casi no se mueve debido a la fricción y al tratamiento existente entre piezas.



Figura 52. Corredera y cadera.

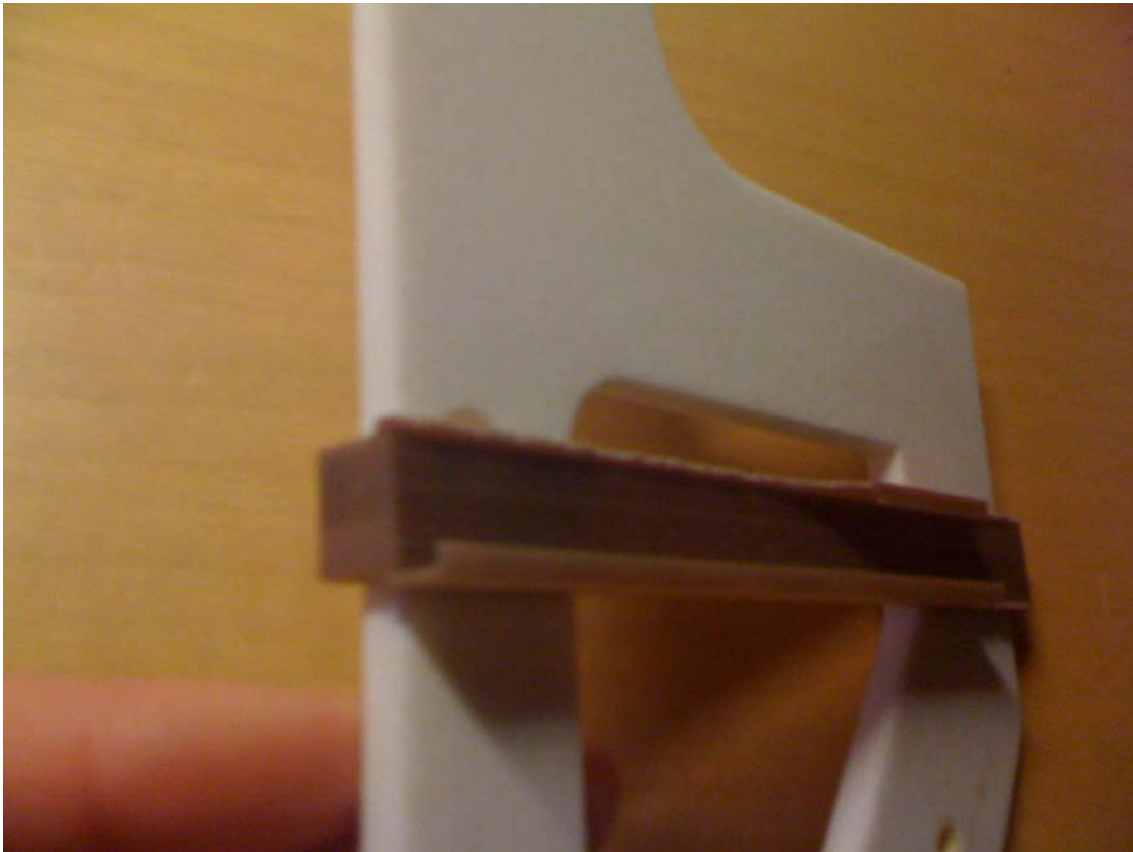


Figura 53. Corredera y cadera (2).

- Existe una diferencia de tamaño importante entre la pieza diseñada inicialmente en Solid Edge y la pieza resultante final, después de aplicar la capa de epoxi.
- Con el movimiento del mecanismo se observaban alteraciones en los aprietes de los pares roscados existentes en las articulaciones en efecto, algunas uniones roscadas se iban apretando con el giro de la tuerca con respecto al tornillo, dificultando el movimiento del bípedo. Una posible solución a este problema sería poner unas gotas de pegamento una vez montada la unión para que el tornillo y la tuerca sean una única pieza.
- La doble manivela de una sola pieza no se podía montar en el conjunto.
- El espesor alrededor de los taladros es inadecuado lo que provoca un agrietamiento y fallo del material.



6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1 Conclusiones

En este proyecto se ha abordado el diseño, el modelado y la fabricación con impresora 3D de un prototipo de Pasibot más pequeño y liviano que su predecesor.

En efecto, el peso del nuevo prototipo sería, en teoría, de unos 800 g frente a los cerca de 10 Kg del prototipo en aluminio.

La curva de par necesario para mantener el caminar del prototipo modelado tiene un máximo entorno a 150 Nmm, unas cinco veces menor que el correspondiente al prototipo de aluminio. Así, el prototipo propuesto podría prescindir de una etapa de reducción mecánica.

Tras el diseño y modelado del bípedo con Solid Edge a escala 1:2, se han obtenido las piezas con la impresora 3D que posee el departamento de robótica.

Las piezas normalizadas (tornillos, tuercas y casquillos de fricción) se han adquirido en el mercado.

El montaje del bípedo reveló una serie de inconvenientes para su funcionamiento a la vista de los cuales, en este proyecto se propone una lista de modificaciones tanto estructurales como de montaje.

Se ha rediseñado y modelado todo el robot atendiendo a las modificaciones propuestas y se ha realizado un análisis de interferencias. Se espera que el nuevo modelo sea fabricado y montado, y no presente inconvenientes que lo impidan caminar.

6.2 Soluciones y propuesta de un segundo Pasibot

A continuación se enumeran las soluciones a los inconvenientes anteriormente expuestos y se proponen las correspondientes modificaciones.

- **Corredera.** Como se propuso antes, se ha optado por descartar la doble corredera a favor de una sola corredera horizontal, alineada con el tramo recto del mecanismo Chebyshev. La guía correspondiente irá integrada en la propia cadera, como se puede apreciar en las figuras 41 y 42.

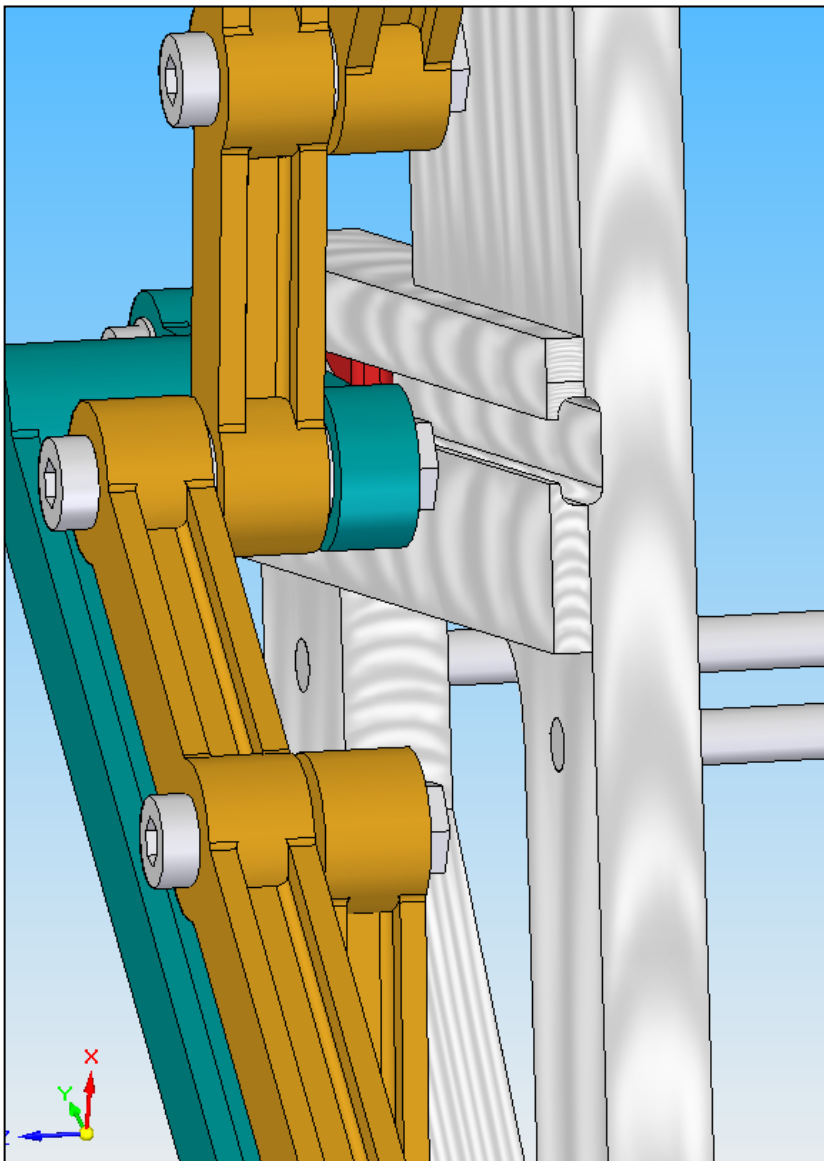


Figura 54. Detalle de corredera.

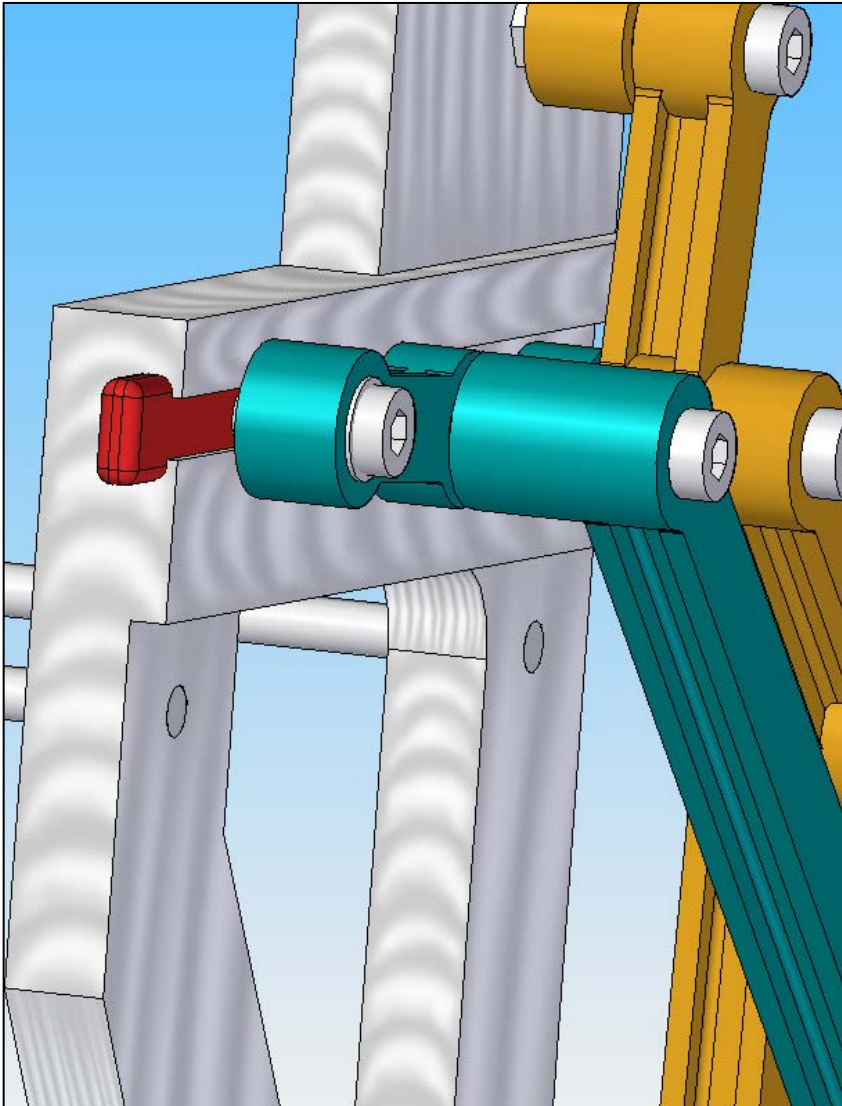


Figura 55. Corredera.

- **Separadores.** En el primer prototipo, se incluían separadores para situar los eslabones en los planos de funcionamiento. En el segundo prototipo se eliminan los separadores quedando estos integrados en los eslabones correspondientes (figura 43, 44 y 45).

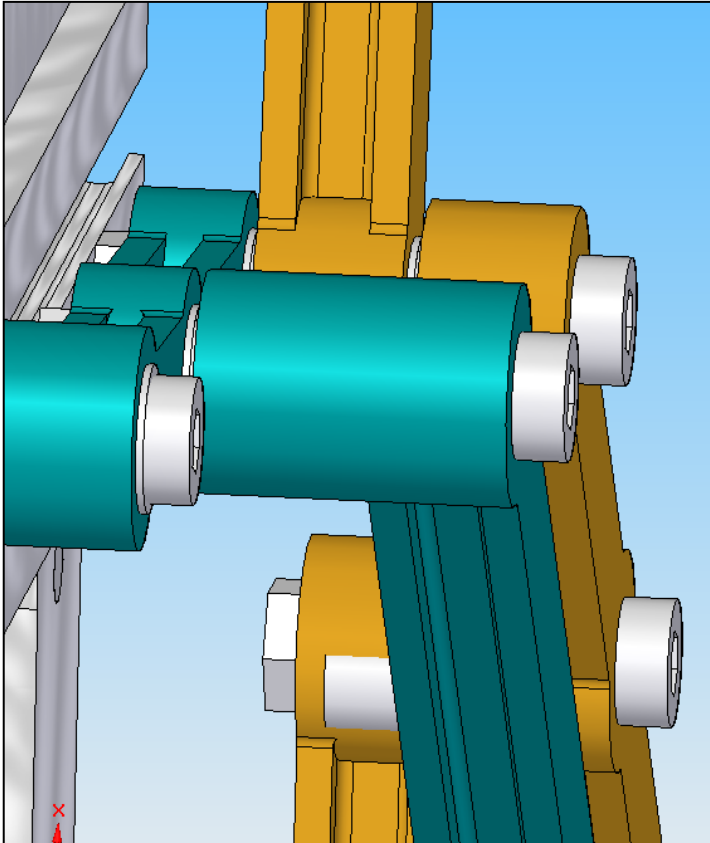
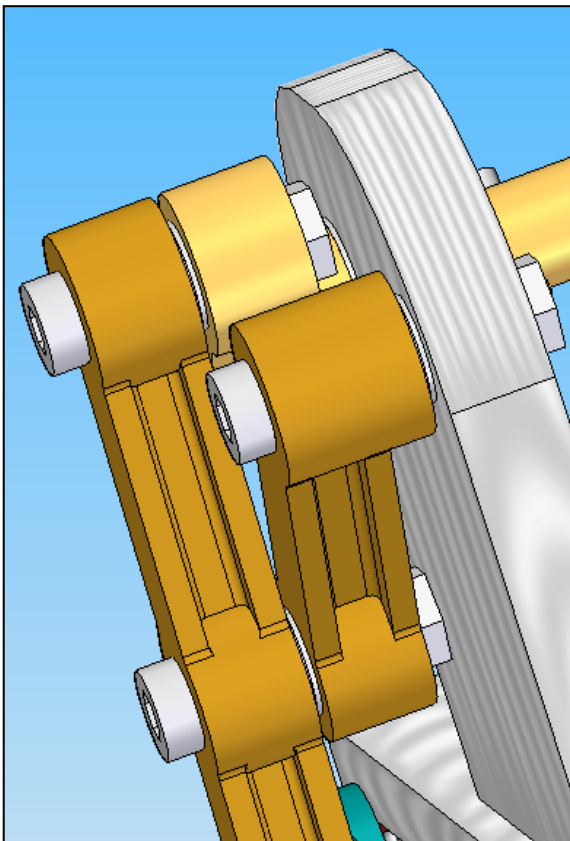


Figura 56. Detalle de separadores integrados.



*Figura 57.
Detalle de separadores integrado en la pieza.*

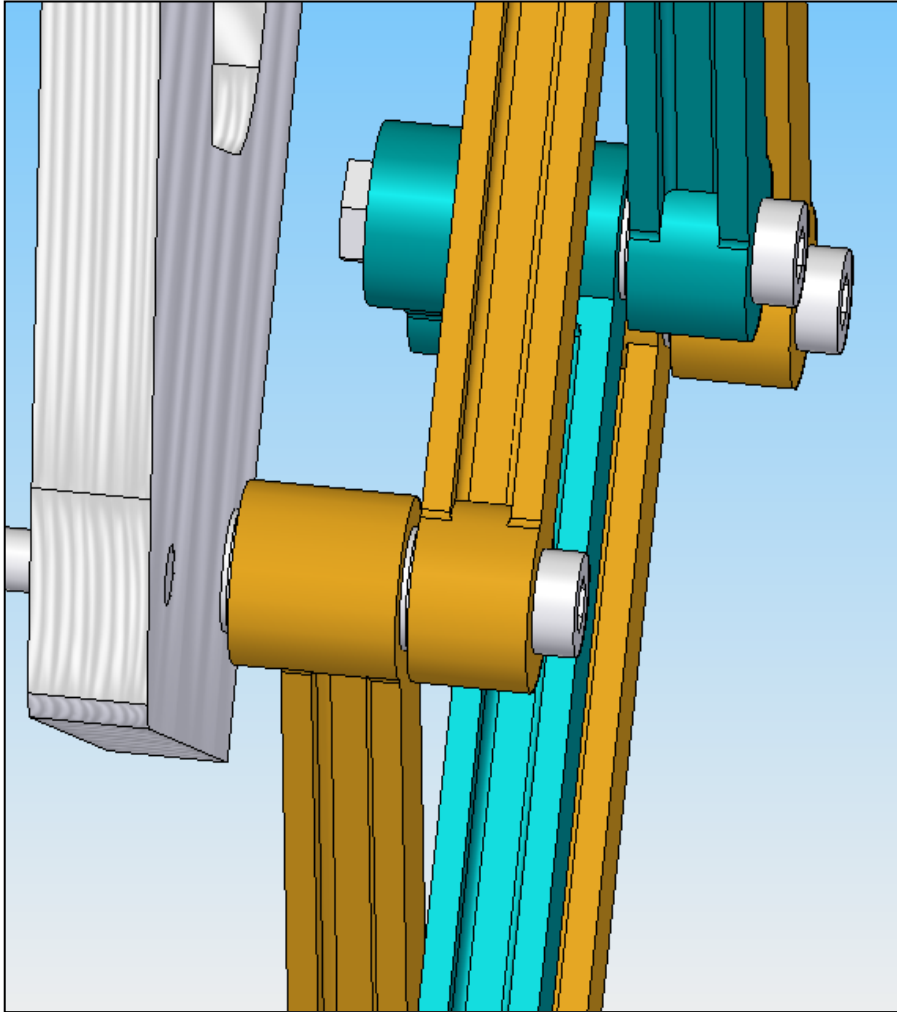


Figura 58. Separadores integrados.

- Aumento de **espesor** alrededor de los taladros.
- **Manivela.** Se engrosó esta pieza, sobre todo en el agujero y eje que es donde mayores esfuerzos habrá. También se añade un acoplamiento en el interior, para que el eje de la manivela pueda ser movido por un motor u otro sistema de transmisión. Se puede ver el detalle en la figura 46.

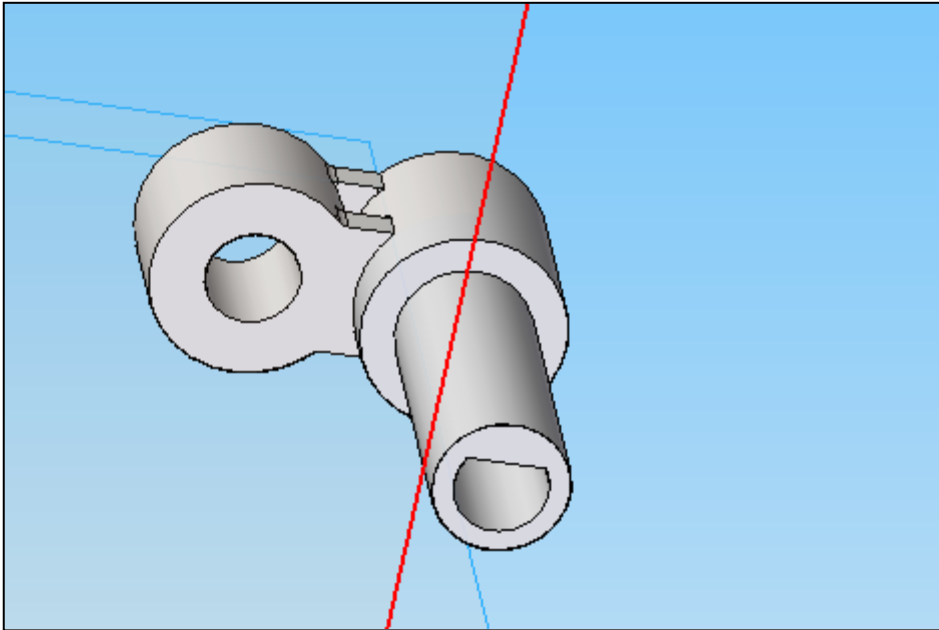


Figura 59. Manivela.

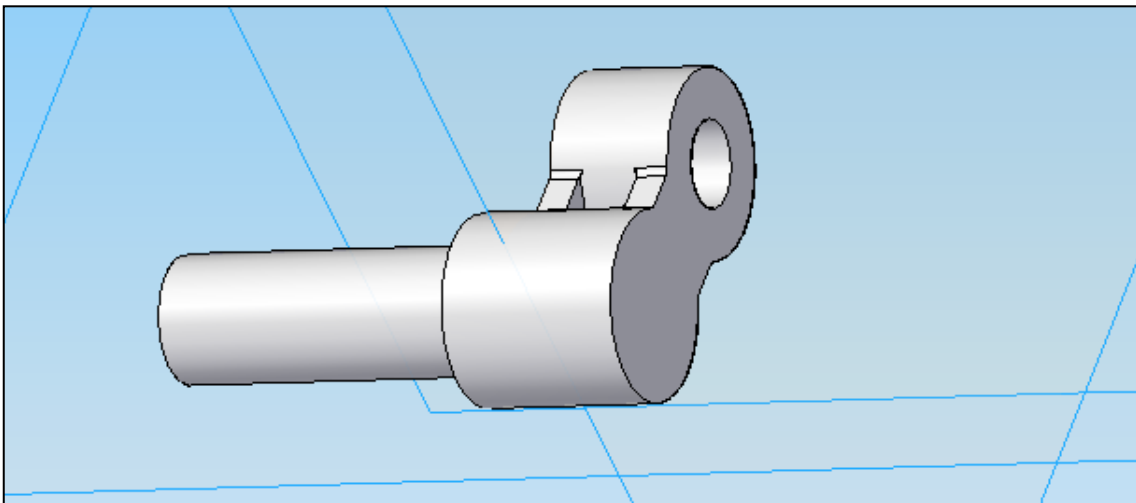


Figura 60. Detalle de manivela.

- **Pie.** Como en todas las piezas, se añade más material alrededor de los agujeros y se aumenta la anchura de la pieza.

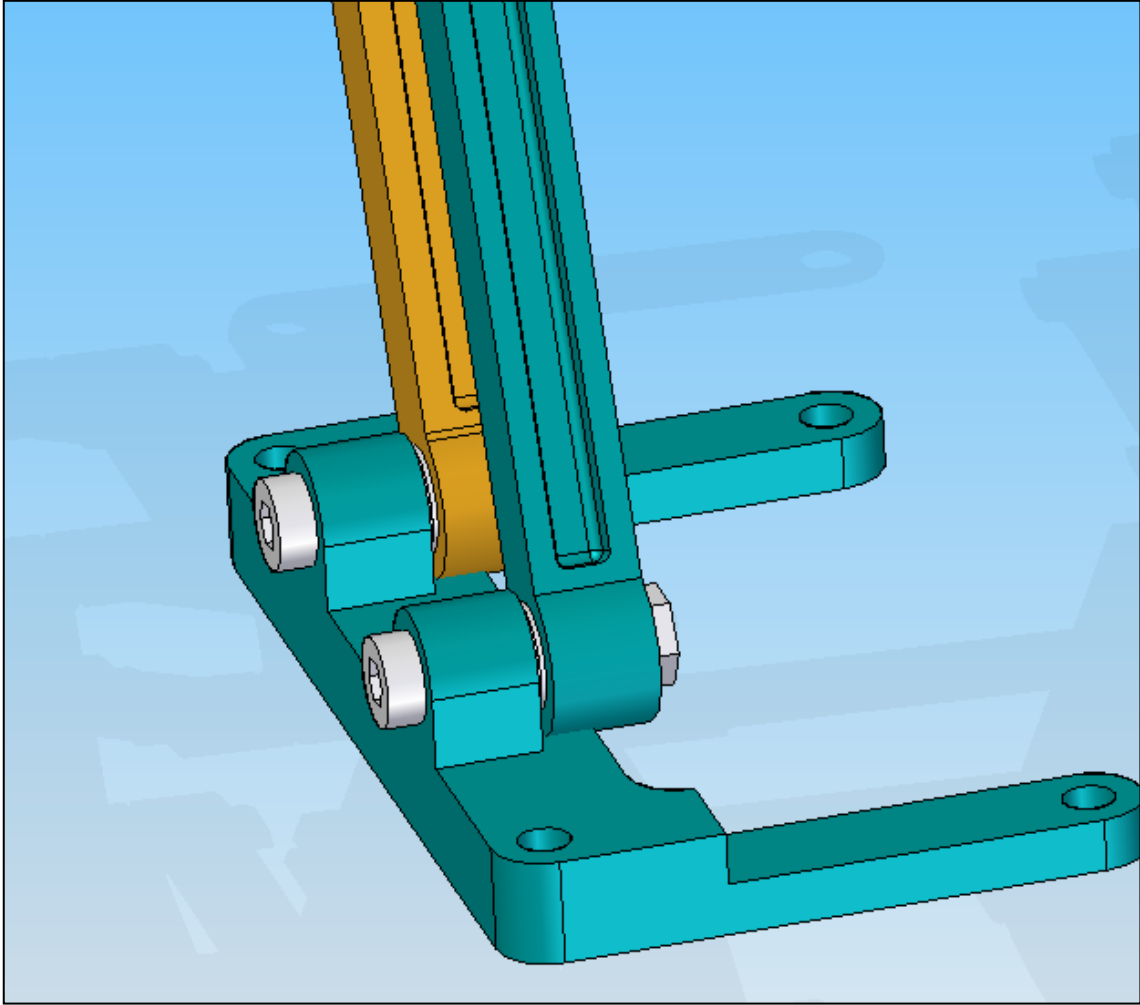


Figura 61. Detalle de pie.

- **Deslizadera.** Tendrá una cavidad donde se pueda dejar una tuerca, como se puede ver en la figura 49. También será más alargada y tendrá sus bordes redondeados, para disminuir la fricción. La guía, que está integrada en la cadera, también tendrá en su interior las aristas redondeadas.

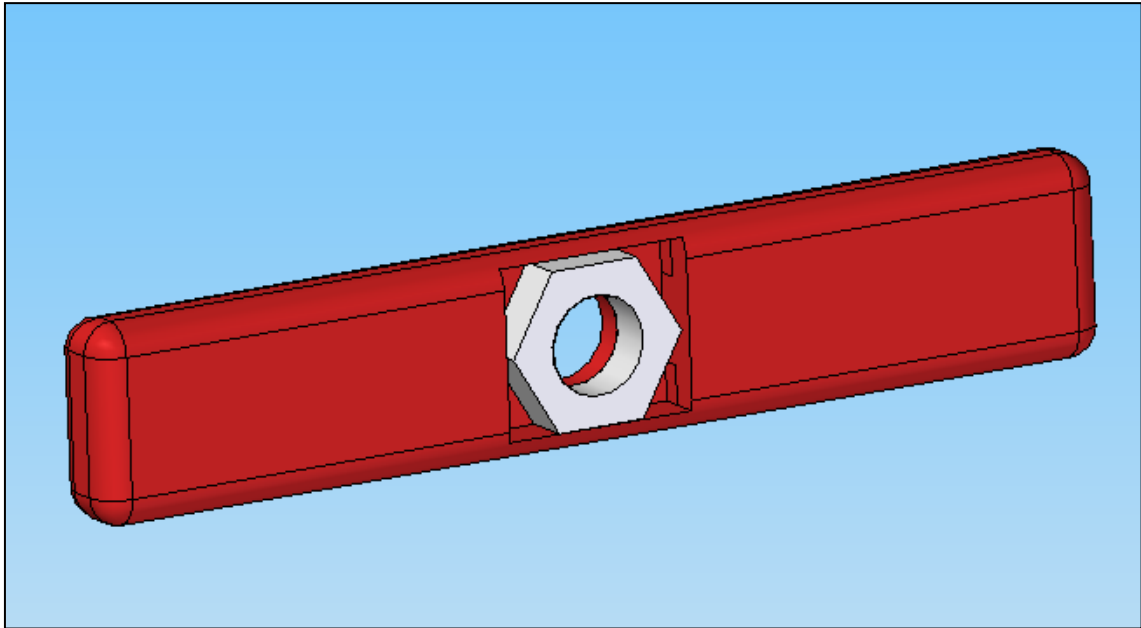


Figura 62. Detalle de corredera.

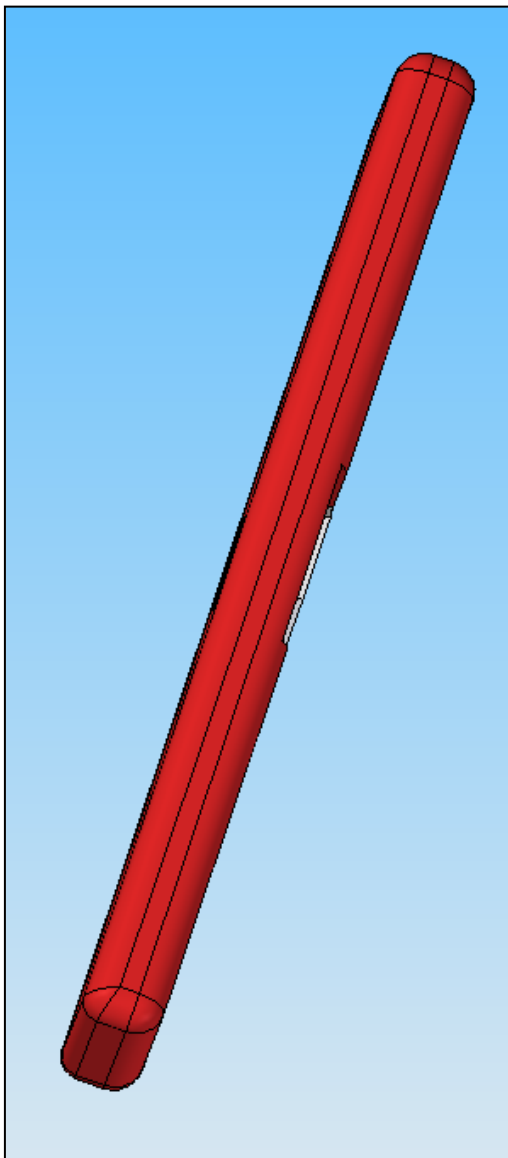


Figura 63. Corredera.

DISEÑO DE LA ARTICULACIÓN

Finalmente se ha realizado un dibujo en detalle de una junta.

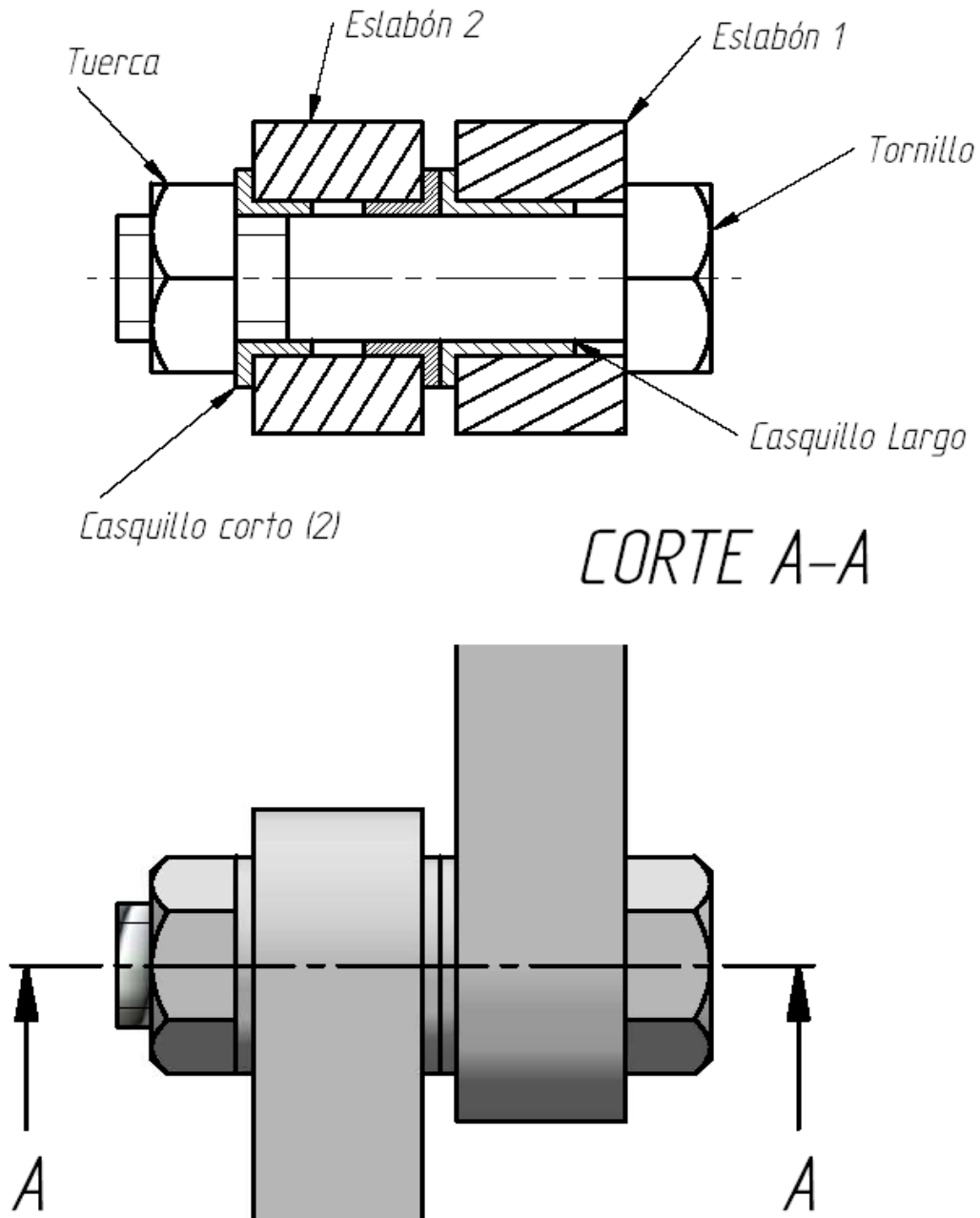


Figura 64. Diseño de junta



- El tornillo tendrá la mayor parte sin roscar y su diámetro será como el del interior del casquillo.
- El casquillo largo estará fijo al eslabón 1, girando solidario a él.
- Los casquillos cortos estarán fijos al eslabón 2.
- El casquillo corto y largo que están en contacto girarán sobre la superficie de ala común, la cual deberá estar pulida y engrasada.
- La tuerca estará fija al tornillo con una gota de pegamento.
- La tuerca girará respecto al casquillo corto de la izquierda, cuya superficie en común estará pulida y engrasada.

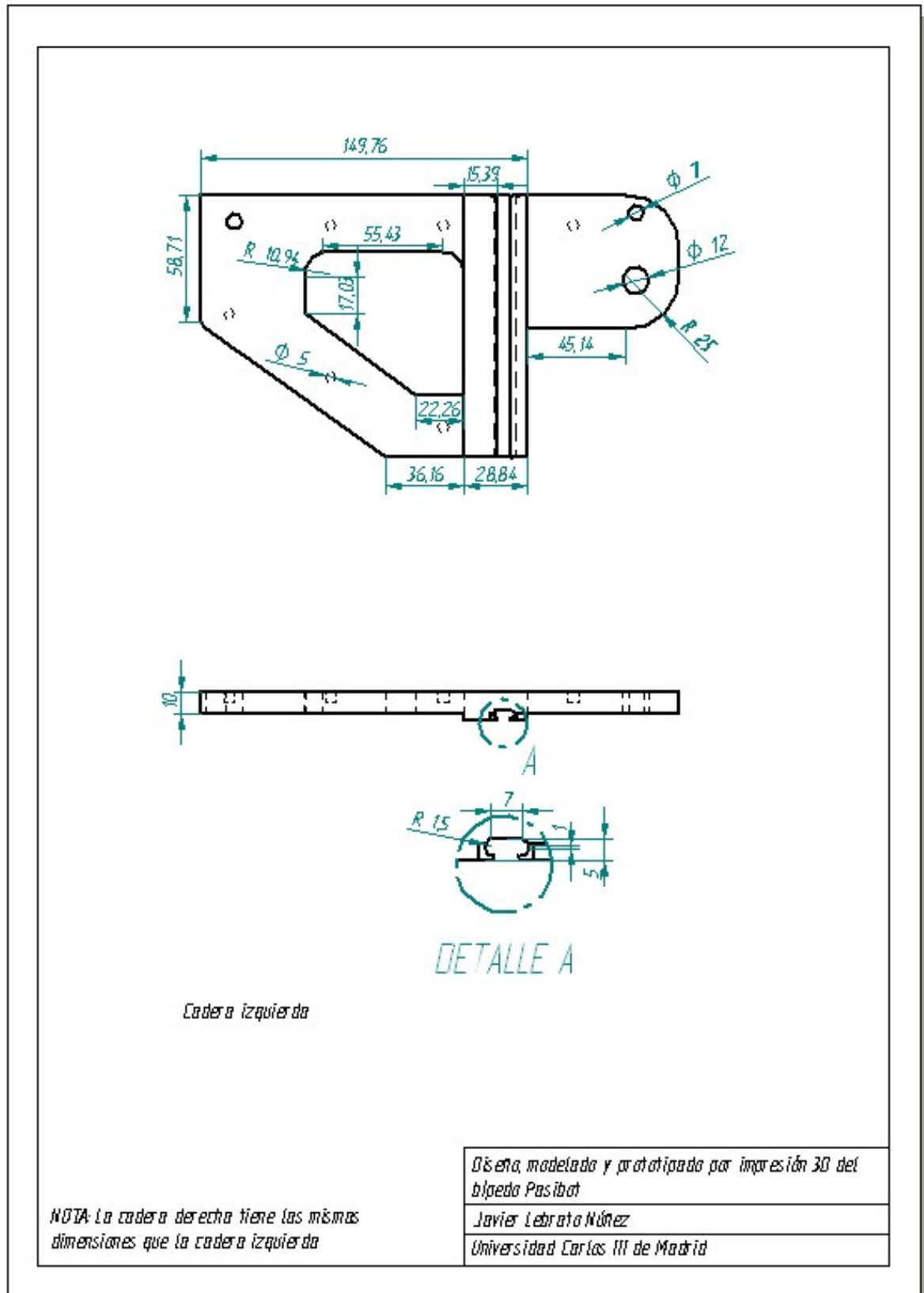
Este proyecto tiene una línea de continuación muy clara. De hecho, en la actualidad otro alumno ya ha tomado el relevo teniendo el último diseño como punto de partida.

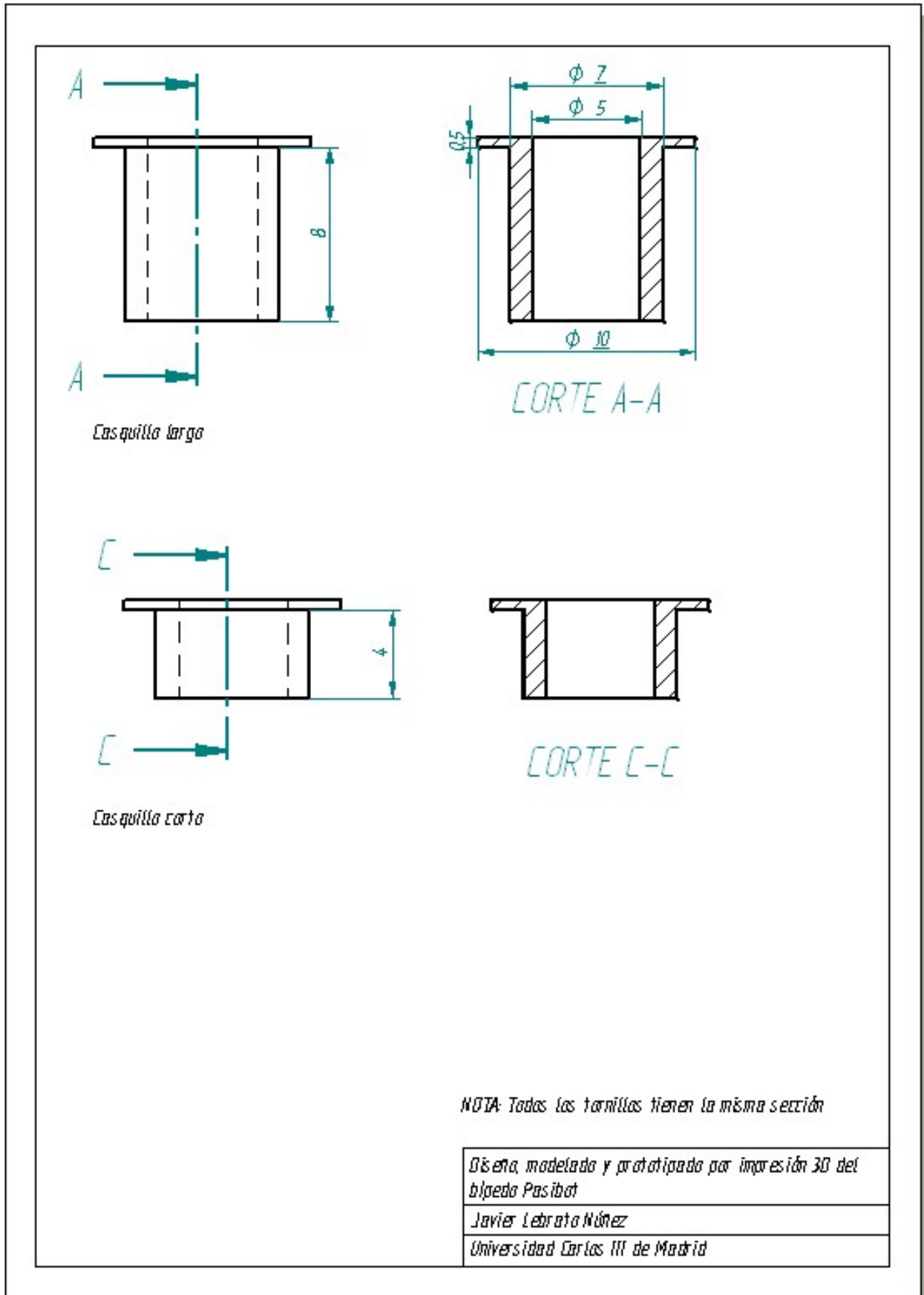
Una vez comprobado el movimiento se procederá a elegir y adquirir el motor. El modelo realizado en Solid Edge admite análisis de esfuerzos en cualquier eslabón.

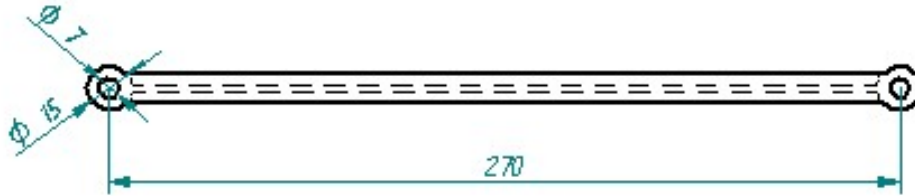
Otra posible línea de futuro sería el estudio y optimización de las articulaciones, así como la influencia de las holguras en funcionamiento del bípedo.

7. ANEXO

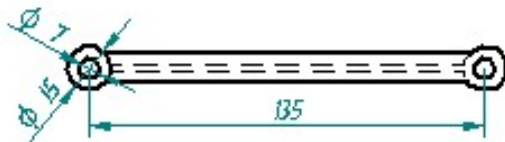
A continuación se muestran los planos de las piezas y del conjunto ensamblado:



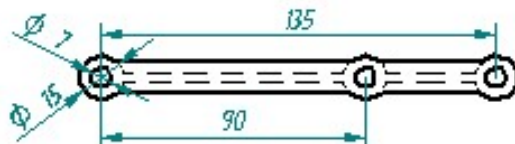




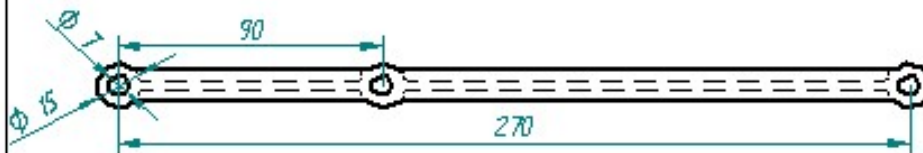
Peroné



Contrafémur



Fémur



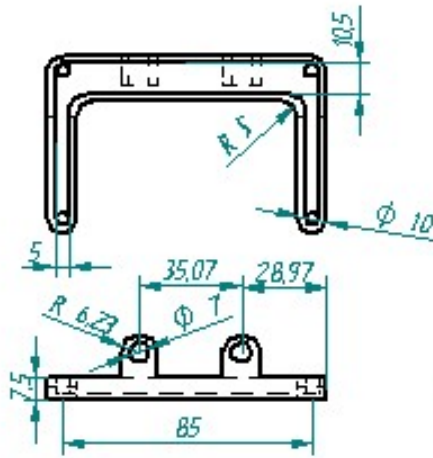
Tibia

NOTA: todas las eslabones tienen la misma sección y el mismo radio de redondeo.

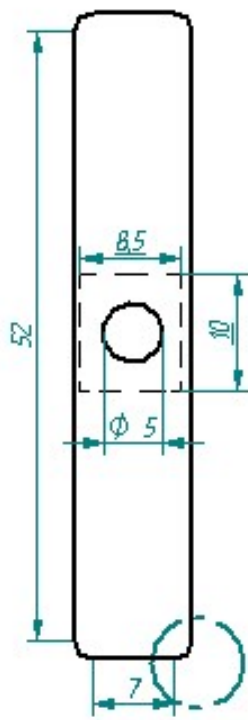
Diseño, modelado y prototipado por impresión 3D del bípodo Pasibot

Javier Lebrato Núñez

Universidad Carlos III de Madrid



Pie izquierdo



A

Deslizadora



DETALLE A

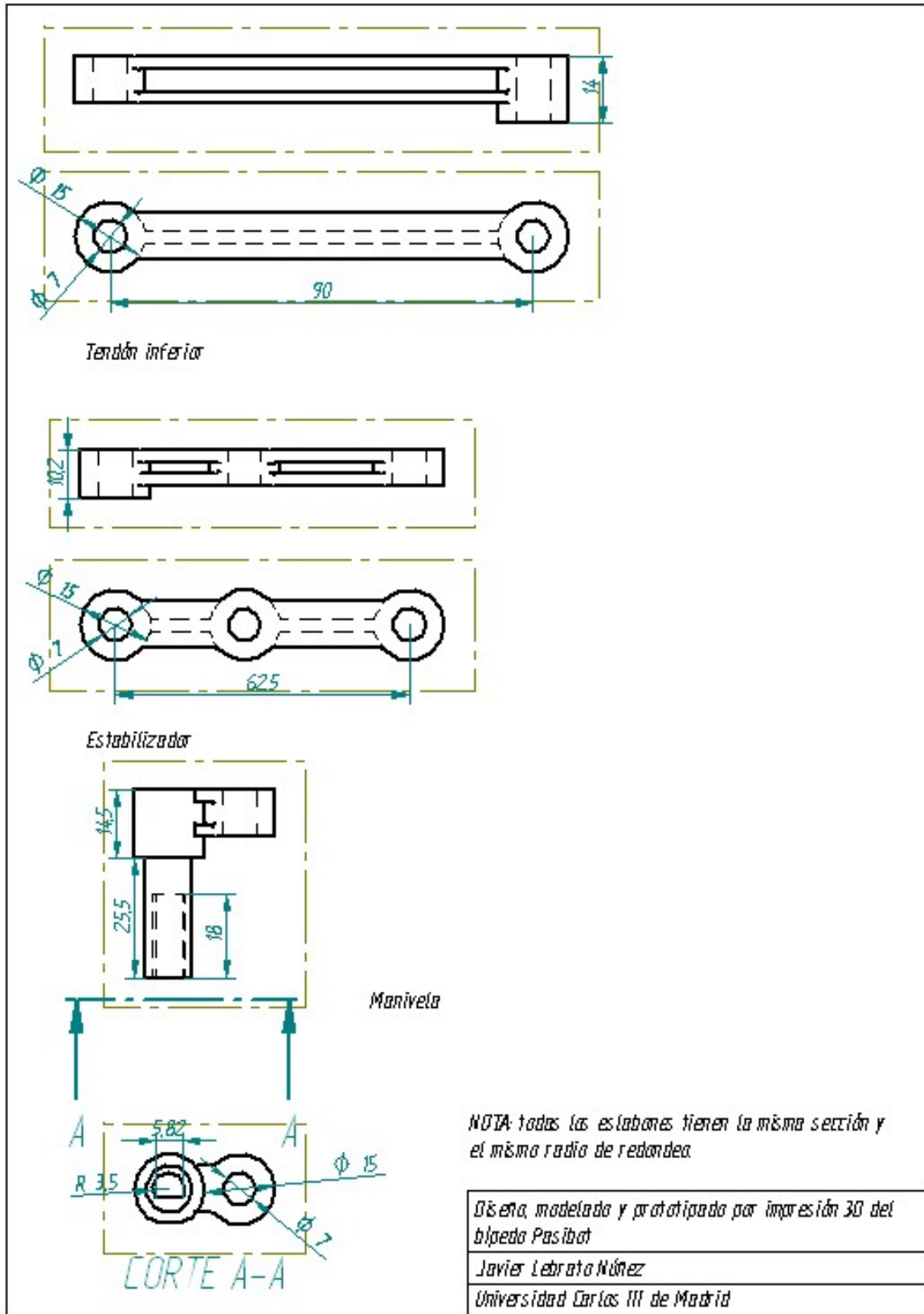


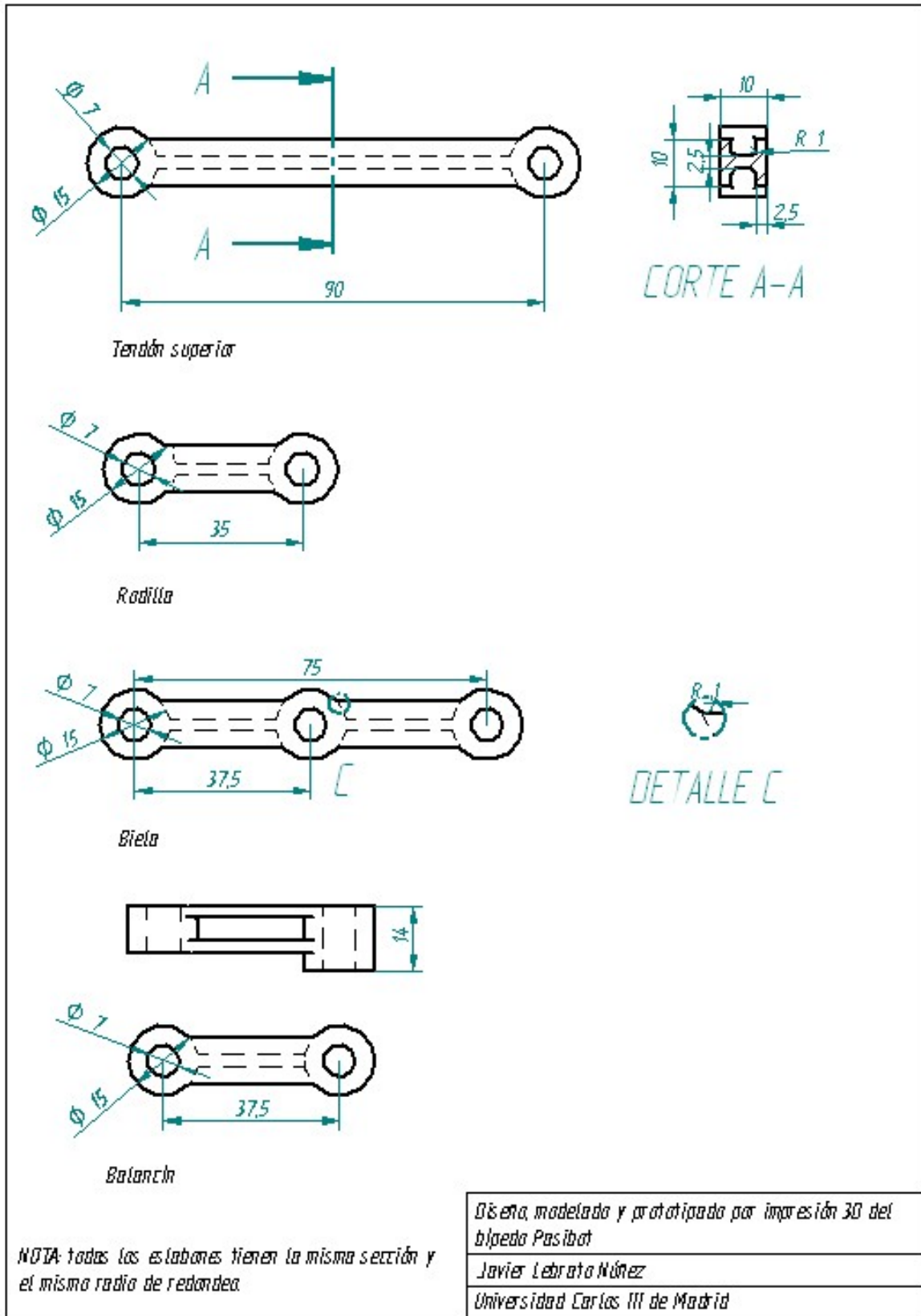
NOTA: El pie derecho tiene las mismas dimensiones que el pie izquierdo

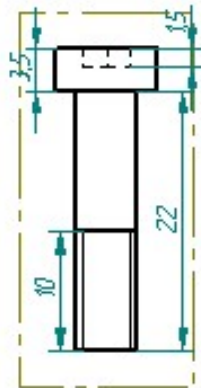
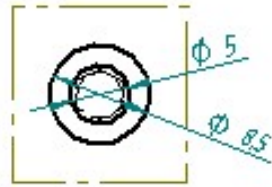
Diseño, modelado y prototipado por impresión 3D del bípodo Pasibot

Javier Lebrato Núñez

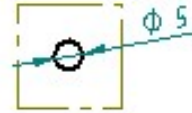
Universidad Carlos III de Madrid



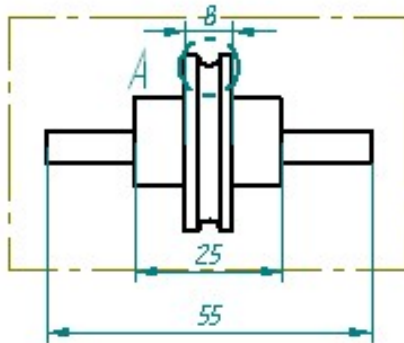




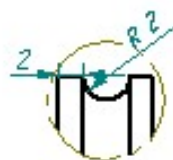
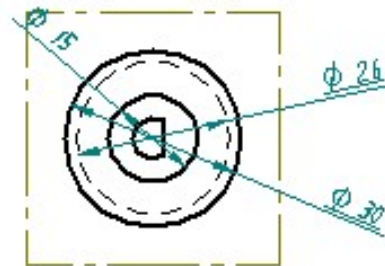
Tornillo



Separador



Adaptador



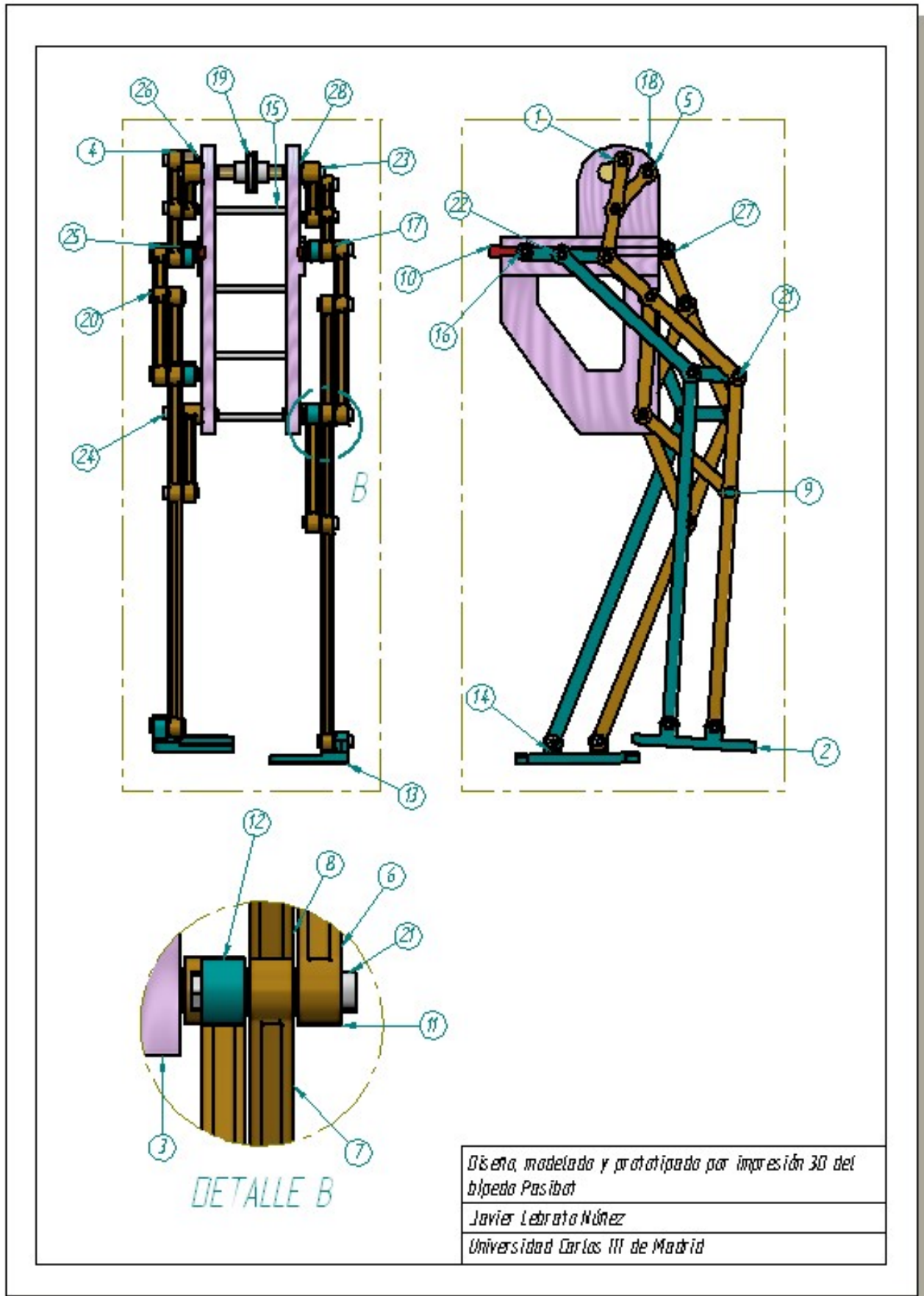
DETALLE A

NOTA: Todas las tornillos tienen la misma sección

Diseño, modelado y prototipado por impresión 3D del bípodo Pasibot

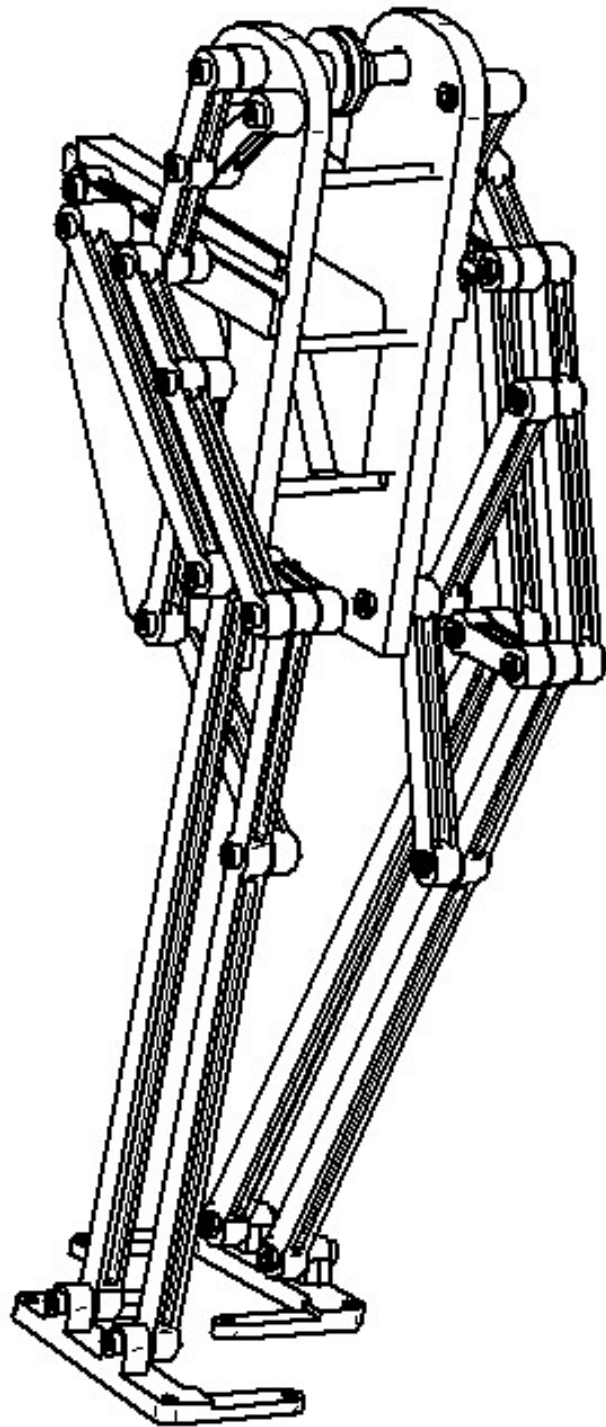
Javier Lebrato Núñez

Universidad Carlos III de Madrid





Número de elemento	Título	Cantidad
1	<i>Manivela</i>	2
2	<i>Pie derecha</i>	1
3	<i>Cadera derecha</i>	1
4	<i>Biela</i>	2
5	<i>Balancín</i>	2
6	<i>Fémur</i>	2
7	<i>Tibia</i>	2
8	<i>Tendón superior</i>	2
9	<i>Tendón inferior</i>	2
10	<i>Deslizadera</i>	2
11	<i>Contrafémur</i>	2
12	<i>Rodilla</i>	2
13	<i>Pie izquierdo</i>	1
14	<i>Peroné</i>	2
15	<i>Separador</i>	6
16	<i>Casquilla larga</i>	48
17	<i>Casquilla corta</i>	18
18	<i>Cadera izquierda</i>	1
19	<i>Adaptador</i>	1
20	<i>Tornillo</i>	12
21	<i>Tornillo A</i>	4
22	<i>Tornillo B</i>	4
23	<i>Tornillo C</i>	2
24	<i>Tornillo D</i>	2
25	<i>Tornillo E</i>	2
26	<i>Tuerca</i>	26
27	<i>Estabilizador</i>	2
28	<i>Casquilla larga 2</i>	2



Conjunto

*Diseño, modelado y prototipado por impresión 3D del
bípedo Pasibat*

Javier Lebrato Núñez

Universidad Carlos III de Madrid



8. BIBLIOGRAFÍA

Páginas Web:

[3] Autómatas en la historia:

http://automata.cps.unizar.es/Historia/Webs/automatas_en_la_historia.htm (enero 2011)

[4] Clasificación de los robots:

<http://usuarios.lycos.es/sparta/experiences12.html> (Última consulta enero 2011)

[5] Mecanismo de Chebyshev:

<http://mimosa.pntic.mec.es/jgomez53/matema/conocer/chebyshev.htm> (febrero 2011)

[6] Mecanismo Pantógrafo

<http://es.wikipedia.org/wiki/Pant%C3%B3grafo> (febrero 2011)

[7] Sistema de estabilización del robot Pasibot

www.uclm.es/actividades/2010/CongresoIM/pdf/cdarticulos/193.pdf (febrero 2011)

[8] Impresoras de prototipado 3D

www.zcorp.com (marzo 2011)

Publicaciones:

[1] PFC: ESPANTOSO MIRANDA, Víctor: Modelado y simulación del robot PASIBOT. Estudio de la rigidez y mejora en la prevención del vuelco lateral, Universidad Carlos III, Madrid, 2009.

[2] PFC: CORRAL ABAD, Eduardo: Análisis mecánico del robot bípido "PASIBOT". Universidad Carlos III, Madrid, 2009.