



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
Instituto Universitario de Microelectrónica Aplicada
Sistemas de información y Comunicaciones

Máster en Tecnologías de Telecomunicación



Trabajo Fin de Máster

**Desarrollo de un sistema de posicionamiento preciso
para inductores RFID empleados en el estándar PalFi**

Autor: D. Airán Vega Rodríguez

Tutor(es): Dr. Carlos Javier Sosa González
Dr. Juan Antonio Montiel Nelson

Fecha: diciembre de 2017



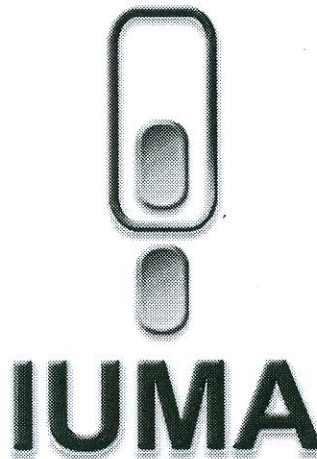
t +34 928 451 086 iuma@iuma.ulpgc.es
f +34 928 451 083 www.iuma.ulpgc.es

Campus Universitario de Tafira
35017 Las Palmas de Gran Canaria



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
Instituto Universitario de Microelectrónica Aplicada
Sistemas de información y Comunicaciones

Máster en Tecnologías de Telecomunicación



Trabajo Fin de Máster

Desarrollo de un sistema de posicionamiento preciso
para inductores RFID empleados en el estándar PalFi

HOJA DE FIRMAS

Alumno/a: Airán Vega Rodríguez Fdo.:

Tutor/a: Carlos Javier Sosa González Fdo.:

Tutor/a: Juan Antonio Montiel Nelson Fdo.:

Fecha: diciembre de 2017



t +34 928 451 086
f +34 928 451 083

iuma@iuma.ulpgc.es
www.iuma.ulpgc.es

Campus Universitario de Tafira
35017 Las Palmas de Gran Canaria



Máster en Tecnologías de Telecomunicación



Trabajo Fin de Máster

Desarrollo de un sistema de posicionamiento preciso
para inductores RFID empleados en el estándar PalFi

HOJA DE EVALUACIÓN

Calificación:

Presidente

Fdo.:

Secretario

Fdo.:

Vocal

Fdo.:

Fecha: diciembre de 2017



RESUMEN

En este trabajo se ha diseñado e implementado, a partir de una impresora 3D, un sistema de posicionamiento preciso que permite emplazar las antenas RFID (pareja lector-etiqueta) empleados en el estándar de facto PalFi (Passive Low Frequency Interface).

El esfuerzo de este Trabajo Fin de Máster se focaliza en desarrollar el número mínimo de modificaciones, que permitan a diversos instrumentos (analizador de señales y red, osciloscopio, amperímetro, entre otros) evaluar las características de un sistema de comunicaciones de baja frecuencia, sobre un robot de posicionamiento.

El posicionador preciso se dividió en tres grandes bloques: El sistema de movimiento, el software que lo controla y el conjunto de utillaje que facilita el cableado necesario para el instrumental.

El trabajo principal el cual es objeto de esta documentación se centra en el conjunto de piezas que se han diseñado y fabricado, con el fin de adaptar tanto el cableado como los instrumentos a los componentes que van a posicionar con la impresora 3D. Estas piezas se han diseñado con diversos softwares de diseño asistido por ordenador (CAD) para posteriormente fabricarlos con la propia impresora 3D objeto de modificación en este Trabajo Fin de Máster.

En primer lugar, se ha desarrollado un conjunto de piezas replicadas que permiten construir unas cadenas guías como portacables tanto para alimentación como para las sondas de medida. Una porta guía recorre linealmente el eje vertical (eje Z) y la otra recorre el eje transversal (eje X). Se desarrolla un sistema de sujeción preciso para la etiqueta PalFi sin la necesidad de emplear tornillos. El sistema de sujeción de la etiqueta se emplaza solidariamente con el cabezal de extrusión. Se ha desarrollado un sistema de sujeción dual para el posicionado del Lector PalFi (antena horizontal y a 90° en el eje transversal), emplazada de forma solidaria con la base de impresión 3D.

A lo largo del desarrollo de este Trabajo Fin de Máster ha surgido un objetivo secundario derivado de la construcción mediante plásticos de cada una de las estructuras, el cual consiste en la evaluación de las vibraciones de las estructuras a integrar y la consecuente optimización en términos de robustez de los elementos fabricados.

Por último, se ha estudiado la interfaz de comandos entre la impresora 3D y el ordenador personal (lenguaje G-Code), para determinar el conjunto de comandos necesarios para gestionar el posicionado preciso.

ABSTRACT

In this work, a precise positioning system has been designed and implemented allowing to measure the RFID antennas (reader-tag couple) used by the RFID standard PalFi (Passive Low Frequency Interface).

The effort of this Final Work of Master is focused on developing the minimum number of modifications, which allow to several instruments (signal and network analyzer, oscilloscope, ammeter, among others) to evaluate the features of a low frequency communication system, in particular the dependency with the orientation and positioning.

The precise positioner was divided into three large blocks: the movement system, the software that controls it and the facilities mandatory wiring for the instruments.

The main work which is object of this documentation focuses on the set of parts that have been designed and manufactured, in order to adapt both the wiring and the instruments to the components that will be positioned with the 3D printer. These pieces have been designed with various computer-aided design (CAD) softwares to later manufacture them with the 3D printer used in this Final Work of Master.

First, a set of replicated parts has been developed that allow build a of chain guide as cable carriers both for feeding and for measuring probes. A guide rail is placed linearly along the vertical axis (Z axis) and the other goes along the transverse axis (X axis). A precise clamping system for the PalFi label is developed without the need for screws. The label holding system is located at the extrusion head. On the other hand, a dual clamping system has been developed for positioning the PalFi Reader (horizontal antenna and at 90° on the X axis), placed in the base of the 3D printer.

Throughout the development of this Final Work of Master a secondary objective has arisen derived of the PLA plastic fabrication, which consists on the vibration study of the structures to be integrated. Therefore, it is necessary to optimize each part of the design in terms of Robustness of the manufacturing.

Finally, the command interface between the 3D printer and the personal computer (G-Code language) have been studied to determine the set of commands necessary to manage the precise positioning.

Índice

Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Introducción	1
1.1.1 Sistema de posicionamiento	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Descripción de las tareas que se han realizado.....	3
1.3 Recursos que han sido necesarios	4
1.4 Estructura del documento.....	4
Capítulo 2. Estado del Arte.....	7
2.1 Posicionador de precisión de micropiezas para nanometrología tridimensional.....	7
2.2 Sistemas de posicionamiento piezoeléctrico con cinemática paralela.....	8
2.2.1 Diseño compacto, sin masas ni cables arrastrados	8
2.2.2 Metrología paralela: mediciones multieje utilizando una referencia fija	9
2.2.3 Sistema de inclinación / inclinación con trípode Piezo Drive.....	9
2.2.4 Sistema de inclinación/ inclinación con accionamiento piezoeléctrico diferencial	10
2.3 Posicionadores multiaxiales	11
2.3.1 Seis ejes de movimiento con hexápodos.....	11
2.3.2 Principio de operación.....	12
2.3.2.1 Motores y Unidades	12
2.3.2.2 Articulaciones	12
2.3.2.3 Espacio de trabajo	13
2.3.2.4 Control avanzado de movimiento	14
2.4 Nanosensores de capacitancia (sensores capacitivos)	14
2.5 Motores eléctricos giratorios.....	15
2.5.1 Motor de corriente continua / servomotor.....	15
2.5.2 Motor paso a paso	15
2.6 Sistemas de guía.....	16
2.6.1 Sistemas de guía clásicos y transmisión de fuerza	16
2.6.2 Sistemas de guía a través de juntas de flexión	17
2.6.3 Sistemas de guía a través de rodamientos magnéticos	17
2.7 Software de controlador	18
Capítulo 3. Herramientas	19
3.1 FreeCAD	19
3.1.1 Características	20
3.1.2 ¿Por qué se utilizó este software?	24

3.2 Cura.....	24
3.2.1 Configuración personalizadas	24
3.2.2 Herramientas del programa	28
3.2.3 ¿Por qué se utilizó este software?	31
3.3 Impresora.....	31
3.3.1 Proceso de impresión	32
3.3.2 Partes de la impresora	33
3.3.3 Características generales de la impresora.....	35
3.3.4 Puesta en marcha de la impresora	36
Capítulo 4. Implementación	41
4.1 Solución final	41
4.1.1 Montaje del sistema de posicionamiento	43
4.2 Piezas diseñadas	47
4.2.1 Soporte del Reader	47
4.2.2 Acoplador Reader	50
4.2.3 Separador Reader	52
4.2.4 Extremo inicial de cadena portacable 2.....	54
4.2.5 Extremo final de cadena portacable 2	56
4.2.6 Cadena portacable 2	57
4.2.7 Acoplador Tag.....	58
4.2.8 Soporte de Tag	60
4.2.9 Cadena portacable 1	63
4.2.10 Acoplador 1 de cadena	64
4.2.11 Acoplador 2 de cadena	66
4.3 Pruebas realizadas	67
4.3.1 Pruebas soporte del Reader	67
4.3.2 Pruebas de acopladores 1 y 2 de cadena portacable 1	69
4.3.3 Pruebas cadena portacable 2	71
4.4 Diseños de piezas descartadas.....	71
4.4.1 Diseños soporte para la bobina del Tag del sistema PalFi	71
4.4.2 Diseños cadena portacable 1	73
4.4.3 Diseños cadena portacable 2	73
4.5 G-Code	74
4.5.1 Como se construyen los códigos G	75
4.5.2 Escribir G-Code	76
4.5.3 Códigos G empleado en el sistema de posicionamiento	76

Capítulo 5. Conclusiones y líneas futuras.....	79
5.1 Conclusiones	79
5.2 Líneas futuras	80
Referencias bibliográficas.....	81

Índice de Figuras

Figura 1. Sistema de coordenadas propuesto con 6 grados de libertad.....	2
Figura 2. Disposición de los grados de libertad en la estructura de una impresora 3D cartesiana.....	3
Figura 3. Posicionador de precisión de micropiezas para nanometrología tridimensional.....	8
Figura 4. Sistemas de posicionamiento piezoeléctrico con cinemática paralela.....	9
Figura 5. Disposición de los actuadores de una unidad piezoeléctrica de trípode.....	10
Figura 6. Principio de un sistema de inclinación con accionamiento piezoeléctrico diferencial.....	11
Figura 7. Posicionador con seis grados de libertad Hexápodo.....	12
Figura 8. Articulaciones esféricas.....	13
Figura 9. Simulación hexápoda.....	13
Figura 10. Simulaciones para varios espacios de trabajo hexápodos.....	14
Figura 11. Sensores capacitivos de diferentes tamaños.....	14
Figura 12. Sensores de posición capacitivos en un sistema de nanoposicionamiento.....	15
Figura 13. Tornillo de cabeza.....	16
Figura 14. Rodamiento de bolitas lineal.....	16
Figura 15. Sistema de guía a través de junta de flexión.....	17
Figura 16. Centro de inicio FreeCAD.....	20
Figura 17. Figura geométrica creada con kernel de geometría FreeCAD.....	21
Figura 18. Propiedades de los objetos diseñados en FreeCAD.....	21
Figura 19. Pieza 2D con restricciones.....	22
Figura 20. Simulación de robot en FreeCAD.....	22
Figura 21. Hoja de dibujo.....	23
Figura 22. Renderizado de pieza 3D.....	23
Figura 23. Asistente de configuración.....	25
Figura 24. Agregar nueva impresora.....	25
Figura 25. Configuración de idioma.....	26
Figura 26. Configuración de perfil personalizada.....	26
Figura 27.- Herramientas del Cura.....	28
Figura 28. Herramienta Mover.....	28
Figura 29. Herramienta Escalar.....	29
Figura 30. Herramienta Rotar.....	29

Figura 31. Herramienta Espejo.....	30
Figura 32. Herramienta Ajustes por modelos.....	30
Figura 33. Herramienta ver modo.....	31
Figura 34. Impresión de medicamento.....	32
Figura 35. Croquis de pieza.....	32
Figura 36.- Diseño de pieza en programa CAD.....	33
Figura 37.- Pieza en programa de laminación.....	33
Figura 38. Vista general.....	34
Figura 39. Vista del extrusor.....	34
Figura 40. Vista del menú.....	34
Figura 41. Problemas con el eje X e Y.....	37
Figura 42. Ajuste del offset manualmente.....	37
Figura 43. Subir y bajar cama.....	38
Figura 44. Inserción de filamento.....	38
Figura 45. Rociando laca en la cama de impresión.....	39
Figura 46. Introducción de la tarjeta SD en la impresora.....	39
Figura 47. Vista general de la impresora Hephestos 2.....	42
Figura 48. Sistema de coordenadas propuesto con 6 grados de libertad.....	42
Figura 49. Motores de paso de la impresora 3D.....	43
Figura 50. Montaje del sistema de posicionamiento.....	44
Figura 51. Sistema de sujeción del Reader.....	45
Figura 52. Sistema de cableado del Reader.....	46
Figura 53. Sistema de sujeción del Tag.....	46
Figura 54. Sistema de cableado del Tag.....	47
Figura 55. Soporte del Reader.....	48
Figura 56. Posición de impresión del soporte del Reader.....	49
Figura 57. Acoplador Reader.....	51
Figura 58. Posición de impresión del acoplador Reader.....	51
Figura 59. Separador Reader.....	53
Figura 60. Diseño inicial del separador Reader.....	53
Figura 61. Posición de impresión del separador Reader.....	54
Figura 62. Extremo inicial de cadena portacable 2.....	55
Figura 63. Posición de impresión extremo inicial de cadena portacable 2.....	55

Figura 64. Extremo final de cadena portacable 2.....	56
Figura 65. Posición de impresión extremo final de cadena portacable 2.....	56
Figura 66. Cadena portacable 2.....	57
Figura 67. Posición de impresión de una de las piezas que forma el conjunto de la cadena portacable 2.....	58
Figura 68. Acoplador Tag.....	59
Figura 69. Diseño inicial de acoplador Tag.....	59
Figura 70. Posición de impresión del acoplador Tag.....	60
Figura 71. Dimensiones del Tag del sistema PalFi.....	61
Figura 72. Soporte de Tag.....	61
Figura 73. Detalle del cajón hueco que va a contener la bobina.....	62
Figura 74. Posición de impresión del soporte de Tag.....	62
Figura 75. Cadena portacable 1.....	63
Figura 76. Posición de impresión de una de las piezas que forma el conjunto de la cadena portacable 1.....	64
Figura 77. Acoplador 1 de cadena.....	65
Figura 78. Posición de impresión del acoplador 1 de cadena.....	65
Figura 79. Acoplador 2 de cadena.....	66
Figura 80. Posición de impresión del acoplador 2 de cadena.....	66
Figura 81. Prueba 1 del soporte del Reader.....	68
Figura 82. Prueba 2 del soporte del Reader.....	68
Figura 83. Prueba 3 y 4 del soporte del Reader.....	69
Figura 84. Prueba 1 y 2 de acopladores 1 y 2 de cadena portacable 1.....	70
Figura 85. Prueba 3 y 4 de acopladores 1 y 2 de cadena portacable 1.....	70
Figura 86. Prueba del extremo inicial de la cadena portacable 2.....	71
Figura 87. Conjunto de piezas diseñadas para el soporte de la bobina del Tag.....	72
Figura 88. Conjunto de piezas diseñadas para los acopladores 1 y 2 de cadena portacable 1.....	73
Figura 89. Pieza que permite unir dos portacables con un ángulo de 90°.....	73
Figura 90. Extremo final de la cadena portacable 2.....	74
Figura 91. Ejemplo de código G en editor de texto.....	76

Índice de Tablas

Tabla 1. Características de la impresora Hephestos 2, Parte 1.....	35
Tabla 2. Características de la impresora Hephestos 2, Parte 2.....	36
Tabla 3. Tiempo de impresión del soporte del Reader.....	49
Tabla 4. Datos de soporte del Reader proporcionados por Cura.....	49
Tabla 5. Tiempo de impresión del acoplador Reader.....	52
Tabla 6. Datos de acoplador Reader.....	52
Tabla 7. Tiempo de impresión del separador Reader.....	54
Tabla 8. Datos de separador Reader.....	54
Tabla 9. Tiempo de impresión del extremo inicial de cadena portacable 2.....	55
Tabla 10. Datos de extremo inicial de cadena portacable 2.....	55
Tabla 11. Tiempo de impresión del extremo final de cadena portacable 2.....	57
Tabla 12. Datos de extremo final de cadena portacable 2.....	57
Tabla 13. Tiempo de impresión de la pieza de cadena portacable 2.....	58
Tabla 14. Datos de la pieza de cadena portacable 2.....	58
Tabla 15. Tiempo de impresión del acoplador Tag.....	60
Tabla 16. Datos de extremo inicial de cadena portacable 2.....	60
Tabla 17. Tiempo de impresión del soporte de Tag.....	63
Tabla 18. Datos de extremo inicial de cadena portacable 2.....	63
Tabla 19. Tiempo de impresión de la Pieza de cadena portacable 1.....	64
Tabla 20. Datos de la pieza de cadena portacable 1.....	64
Tabla 21. Tiempo de impresión del acoplador 1 de cadena.....	65
Tabla 22. Datos del acoplador 1 de cadena.....	66
Tabla 23. Tiempo de impresión del acoplador 2 de cadena.....	67
Tabla 24. Datos del acoplador 2 de cadena.....	67
Tabla 25. Tiempo de impresión de la prueba 1 de soporte del Reader.....	68
Tabla 26. Tiempo de impresión de la prueba 2 de soporte del Reader.....	69
Tabla 27. Tiempo de impresión de la prueba 3 de soporte de Reader.....	69
Tabla 28. Tiempo de impresión de la prueba 4 de soporte de Reader.....	69
Tabla 29. Tiempo de impresión de la prueba de acoplador 1 de cadena.....	70
Tabla 30. Tiempo de impresión de la prueba de acoplador 2 de cadena.....	70

Tabla 31. Tiempo de impresión de la prueba 3 de acoplador de cadena.....	71
Tabla 32. Tiempo de impresión de la prueba de la cadena portacable 2.....	71
Tabla 33. Ejemplos de Códigos G.....	75

Acrónimos

PalFi	Passive Low Frequency Evaluation
RFID	Radio Frequency Identification
TFM	Trabajo Fin de Master
CCE	Code Composer Essentials
IAR	Embedded Workbench
IDE	Entorno de desarrollo integrado IDE
CAD	Diseño Asistido por Ordenador
2D	Dos dimensiones
3D	Tres dimensiones
STL	Stereo Lithography

Capítulo 1

Introducción

1.1 Introducción

En este Trabajo Fin de Máster (TFM) se propone desarrollar un sistema de posicionamiento preciso para inductores RFID empleados en el estándar PalFi [1] (Passive Low Frequency Interface).

El estándar de comunicación PalFi está diseñado para transmitir no sólo datos, sino energía desde la unidad lectora (base de lectura/escritura, del término en inglés “Reader”) a la etiqueta (del término inglés “Tag”). Tanto el trasvase de datos como energía se realiza en baja frecuencia (134,2 KHz). A esta frecuencia, las comunicaciones se realizan mediante campo magnético. Por tanto, las antenas son básicamente inductores.

A efectos prácticos, esta última característica (acoplamiento magnético) no permite el empleo de los simuladores circuitales tradicionales como Hspice [2] o Spectre [3] entre otros en condiciones normales (no ideales), siendo imprescindible emplear herramientas de análisis numérico como por ejemplo Ansys Maxwell [4] o similares.

Es bien conocido, que, frente a los simuladores tradicionales, las herramientas de análisis numérico requieren cuantiosos recursos computacionales y memoria para resolver las diversas ecuaciones diferenciales y obtener un conjunto reducido y puntuales de soluciones del espacio de diseño en condiciones reales.

En este Trabajo Fin de Máster se propone desarrollar un sistema de posicionamiento 3D (robot), la infraestructura y el software mínimo necesario para facilitar la ejecución de distintas pruebas y medidas con diversos instrumentos (analizador de señales y red, osciloscopio y amperímetro, entre otros) con el fin de realizar la caracterización de los componentes tanto del lector como de la etiqueta PalFi.

El instrumento de posicionamiento desarrollado se validará mediante la comprobación de los valores obtenidos con las herramientas de simulación numérica o los propios datos ofrecidos por los fabricantes en sus hojas de características.

1.1.1 Sistema de posicionamiento

Se propone desarrollar un dispositivo que permita posicionar de forma precisa y eficiente una etiqueta (Tag) PalFi con respecto a su estación base (Reader) y que permita ejecutar el conjunto de medidas que caracteriza los elementos bajo prueba.

El estudio de los parámetros de estos dispositivos ha de realizarse teniendo en cuenta posicionamientos con 6 grados de libertad. Sean estos grados de libertad definidos por las variables X, Y, Z, α , β , y γ (véase la figura 1 para más detalle). Con el objeto de reducir la complejidad del sistema de posicionamiento, se adoptará una política de ajuste manual sobre los parámetros α , β , y γ . Mientras que los parámetros X, Y y Z serán gestionados mediante un software que de órdenes de ejecución de estos a un robot de posicionamiento con ejes cartesianos controlado desde un PC.

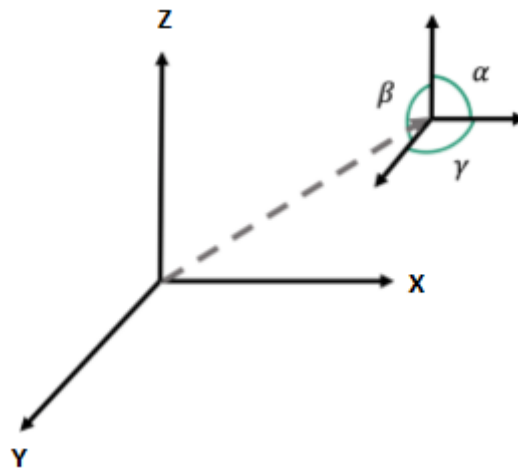


Figura 1- Sistema de coordenadas propuesto con 6 grados de libertad.

Se parte de una impresora 3D cartesiana [5] reutilizando su infraestructura de posicionamiento: ejes, motores, microcontrolador de posicionamiento e interfaz de comunicación a PC. Será necesario desarrollar los sistemas sujeción [6] que permitan el anclaje de las inductancias y posterior de ajuste manual de los parámetros α , β , y γ .

El PC que controla el posicionado 3D también ejecutará las medidas de forma automática con la ayuda de equipos como un Analizador de redes o un Analizador de Espectro (señal) mediante un bus de instrumentación como puede ser el IEEE-488 o similar.

Con el fin de integrar satisfactoriamente el control del posicionado y el control de la instrumentación, se desarrollará el software de PC que permita el posicionamiento del dispositivo mediante el lenguaje de programación LabView [7].

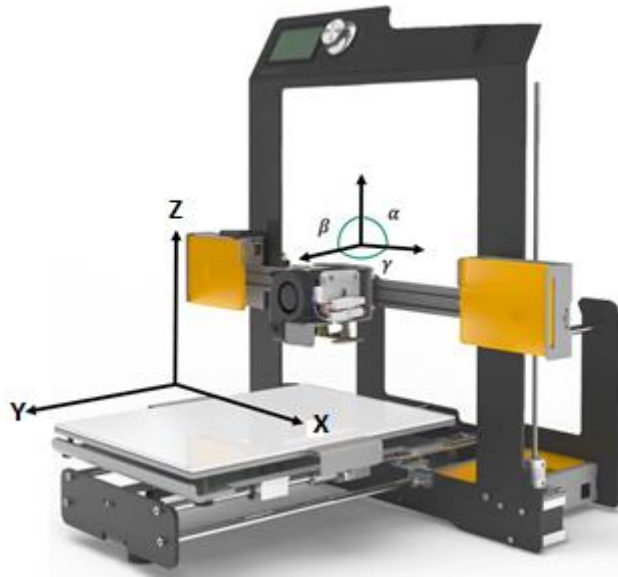


Figura 2.- Disposición de los grados de libertad en la estructura de una impresora 3D cartesiana.

1.2 Objetivos

Este TFM plantea como objetivo principal: desarrollar un sistema de posicionamiento 3D (robot) y la infraestructura necesaria para facilitar la medida de inductores RFID empleados en el estándar PalFi.

Este objetivo principal consta de los siguientes objetivos parciales:

1. Se diseñará el sistema de sujeción ajustable reduciendo al mínimo el impacto sobre la funcionalidad original de la impresora 3D a la que se adapta.
2. Así mismo, se diseñará la infraestructura móvil de sujeción del cableado de instrumentación invadiendo el menor volumen posible del área de impresión de la impresora 3D de partida.
3. Se implementará una pasarela software/librería en LabView a modo middleware para su posterior empleo por parte de otras herramientas software y el demostrador empleado en la validación de este TFM.

1.2.1 Descripción de las tareas que se han realizado

- **Estudio de la impresora 3D Cartesiana:** Se ha estudiado en detalle las especificaciones técnicas de la impresora 3D en términos de resolución y espacio cubierto. Vista la disposición física de sus piezas se ha de propuesto una modificación localizada en el entorno del extrusor y la cama de impresión que permite la sujeción de la etiqueta y la estación base con el menor impacto posible.

- **Cabezal de sujeción de la etiqueta:** Se ha desarrollado el cabezal de sujeción que permite la sujeción de la etiqueta.
- **Fijación de base:** Se ha desarrollado una pieza de sujeción de la base, con el objetivo de emplazar el lector RFID.
- **Canalización de cableado:** Se ha desarrollado sistema de canalización del cableado de sondas que permita tanto retraer como extender la conexión de la etiqueta y el lector con los instrumentos de medida.
- **Codificación del posicionado:** Haciendo uso de la interfaz de comunicación entre la impresora 3D y el PC, se ha desarrollado un software en PC que permite comandar la impresora mediante órdenes en lenguaje G-Code.

1.3 Recursos que han sido necesarios

Para desarrollar este proyecto han sido necesarios los recursos hardware siguientes:

- PC de gama media.
- Impresora 3D Hephestos 2 [5].

El software que se ha usado para realizar este proyecto es:

- Sistema operativo: Windows 7 (x64).
- FreeCAD [8].
- Cura [9].
- LabView 2015 [4] (National Instruments).

Este TFM se ha desarrollado en las instalaciones del Laboratorio de Instrumentación Electrónica (Pab. A, tercera planta).

1.4 Estructura del documento

La memoria del presente documento se divide en 5 capítulos, además de la bibliografía empleada. El contenido de estos capítulos es el resumido a continuación:

- **Capítulo 1. Introducción.** En este capítulo se presentan la propuesta de este Trabajo Fin de Máster (TFM), así como los objetivos que se pretenden satisfacer durante su desarrollo. Asimismo, se incluye la descripción de las tareas que se han realizado, los recursos que se han utilizado y la estructura del documento.
- **Capítulo 2. Estado del arte.** En este capítulo se presenta la tecnología usada en la actualidad en los sistemas de posicionamiento.
- **Capítulo 3. Herramientas.** En este capítulo se presentan y describen todas las herramientas que han sido necesarias para poder desarrollar el presente TFM.

- **Capítulo 4. Implementación.** En este capítulo se describe el sistema de posicionamiento que se ha diseñado.
- **Capítulo 5. Conclusiones y líneas futuras.** En este capítulo se recoge las conclusiones y líneas futuras que se han recogido, tras haber acabado el TFM.

Capítulo 2

Estado del Arte

Un sistema de posicionamiento es un dispositivo mecánico cuya misión es la de ubicar piezas o componentes en unas determinadas posiciones. En el caso que nos ocupa dicho sistema se utiliza como parte de un instrumento de medición precisa.

A continuación, se enumerarán los distintos sistemas de micro posicionamiento y la tecnología que los componen [12] [13].

2.1 Posicionador de precisión de micropiezas para nanometrología tridimensional

En la actualidad se están investigando y desarrollando sistemas de posicionamiento tridimensional de precisión con el fin de posicionar de forma precisa micropiezas.

El reto que se pretende conseguir es crear sistemas de posicionamiento que posean cualidades de miniaturización, ligereza, alta estabilidad térmica y una generación de calor que sea prácticamente nula.

El comportamiento térmico del posicionador es un aspecto de gran importancia, ya que las dilataciones originadas por efectos térmicos pueden producir desplazamientos por lo que las medidas que se toman serían inexactas. Por ello es recomendable utilizar para su construcción materiales de baja dilatación térmica y accionamientos de generación de calor nulo en reposo (véase la figura 3).

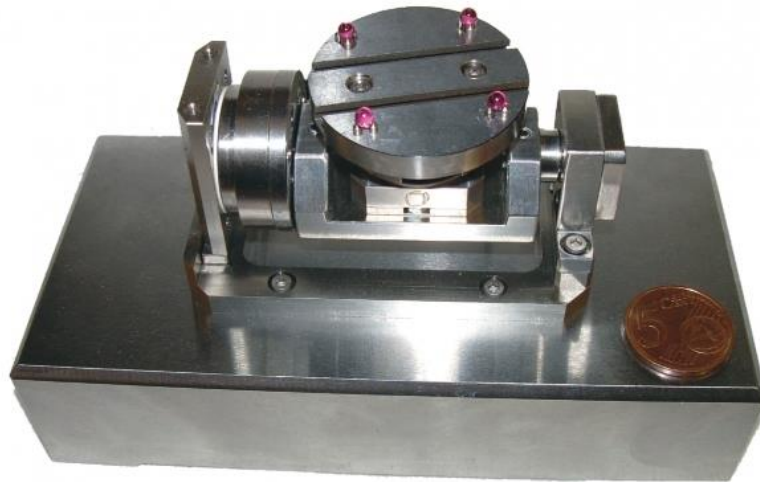


Figura 3.- Posicionador de precisión de micropiezas para nanometrología tridimensional.

2.2 Sistemas de posicionamiento piezoeléctrico con cinemática paralela

De entre todos los sistemas posicionadores, tal vez el más conocido es el basado en efecto piezoeléctrico con cinemática paralela. A continuación, se introduce sus características, funcionamiento y peculiaridades.

2.2.1 Diseño compacto, sin masas ni cables arrastrados

En los sistemas de posicionamiento de ejes múltiples y cinemática paralela, todos los actuadores funcionan sobre una plataforma móvil. Debido a esto, en este tipo de sistemas se diseñan todos los ejes con propiedades dinámicas idénticas, con el objetivo de reducir la masa móvil.

Una ventaja que posee este sistema es que se puede diseñar de forma más compacta (como sistemas en serie apilados o anidados). También indicar que estos sistemas están disponibles con hasta 6 niveles de libertad y ofrecen una gran dinámica en todos los ejes (ver figura 4).

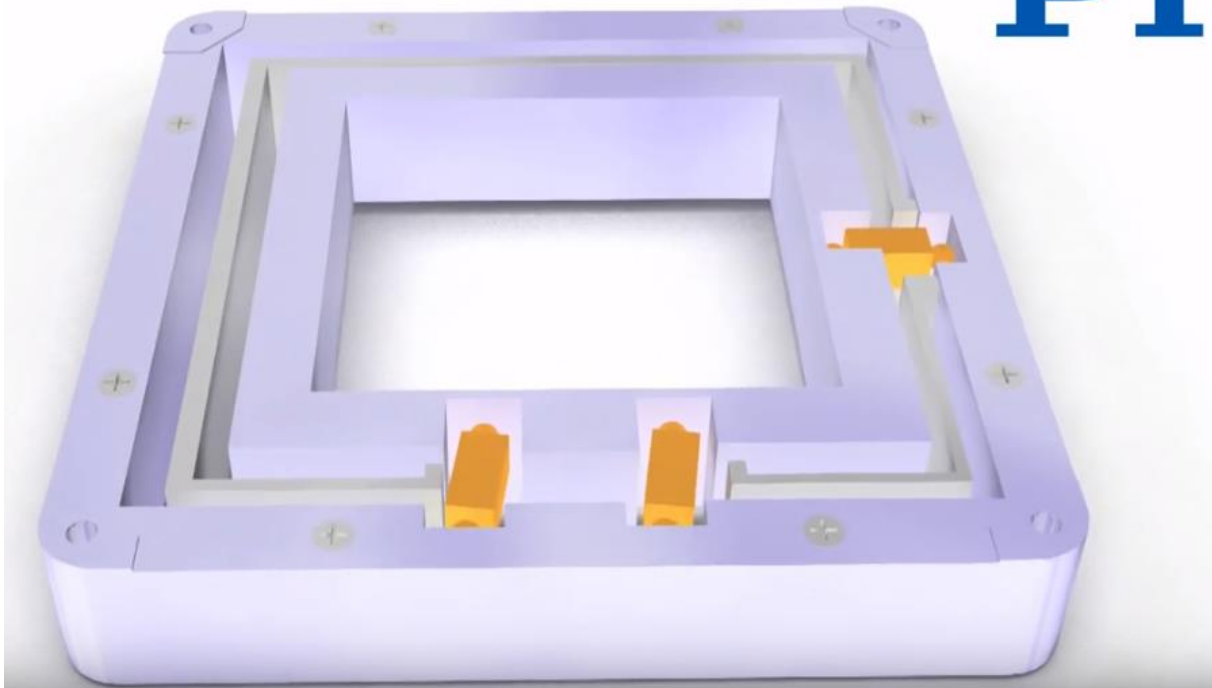


Figura 4.- Sistemas de posicionamiento piezoeléctrico con cinemática paralela.

2.2.2 Metrología paralela: mediciones multiteje utilizando una referencia fija

Un sistema de mediciones multiteje con cinemática es capaz de medir todos los grados de libertad de una plataforma móvil en relación con una referencia fija. Estos sistemas permiten la corrección en tiempo real de las perturbaciones producidas por el movimiento en un eje.

2.2.3 Sistema de inclinación / inclinación con trípode Piezo Drive

En este tipo de sistemas la plataforma está impulsada por tres actuadores piezoeléctricos que forman un ángulo de 120° entre sí. Mediante la transformación de coordenadas, el movimiento se puede dividir entre los diferentes actuadores (un ejemplo de esto se puede ver en la figura 5).

A parte de la inclinación, la plataforma se puede utilizar de forma lineal (en la dirección del eje Z).

Las siguientes ecuaciones se utilizan para calcular el ángulo de inclinación y el rango de desplazamiento en Z, A, B y C (A, B, C son el desplazamiento lineal de cada actuador).

$$\theta_y = \frac{2A - (B + C)}{2a}$$

$$\theta_x = \frac{(B - C)}{b}$$

$$Z = \frac{A + B + C}{3}$$

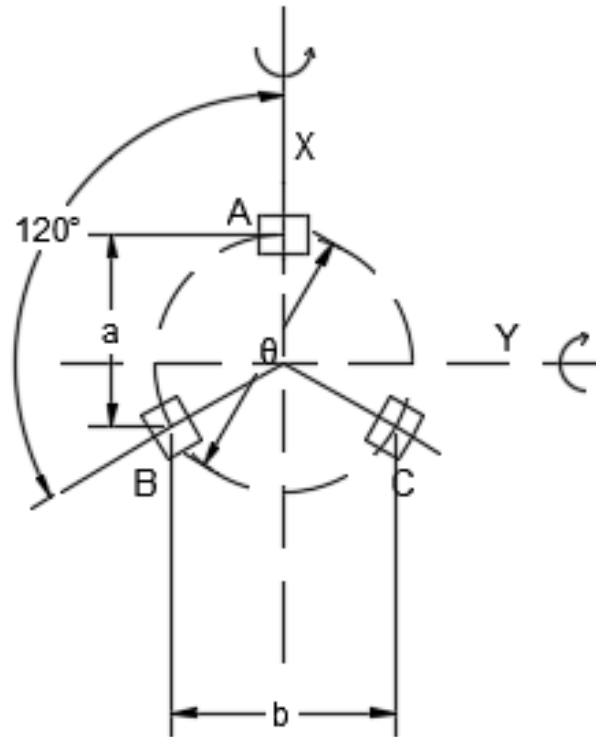


Figura 5.- Disposición de los actuadores de una unidad piezoeléctrica de trípode.

2.2.4 Sistema de inclinación/ inclinación con accionamiento piezoeléctrico diferencial

En este tipo de sistema de inclinación, la plataforma es impulsada por dos pares de actuadores piezoeléctricos que están situados en un ángulo de 90° entre sí (véase figura 6). En este caso los cuatro actuadores se controlan diferencialmente por parejas y como los ejes de inclinación θ_x y θ_y están dispuestos ortogonalmente, no es necesaria una transformación de coordenadas.

Este sistema también posee una excelente estabilidad de posición en un amplio rango de temperatura.

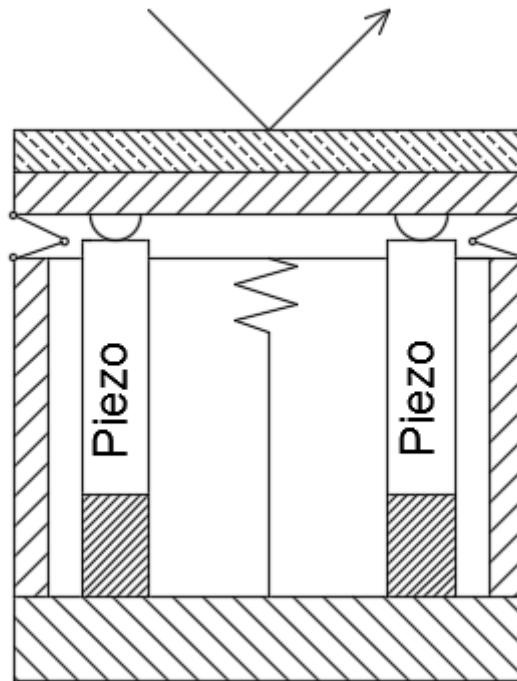


Figura 6.- Principio de un sistema de inclinación con accionamiento piezoeléctrico diferencial.

2.3 Posicionadores multiaxiales

Otro de los sistemas posicionadores que existen en la actualidad, son los posicionadores multiaxiales. A continuación, se muestran las características, funcionamiento y peculiaridades que poseen este tipo de sistemas.

2.3.1 Seis ejes de movimiento con hexápodos

Las plataformas Hexápodos poseen 3 ejes de desplazamiento lineal y rotativo (seis grados de libertad) y se suelen utilizar para mover y posicionar cargas con precisión (para más detalles véase la figura 7).

Estas plataformas poseen una estructura cinemática paralela, es decir, las seis unidades actúan sobre una sola plataforma móvil.

Dependiendo del diseño, los hexápodos pueden cargar o mover cargas de cientos de kilos e incluso de toneladas en cualquier orientación espacial.



Figura 7.- Posicionador con seis grados de libertad Hexápodo.

2.3.2 Principio de operación

En los próximos puntos, se detallarán las características básicas de los hexápodos ya sean basados sus impulsores en dispositivos piezoeléctricos o electromecánicos.

2.3.2.1 Motores y Unidades

Se utilizan transmisiones de husillo de precisión, motores lineales magnéticos o piezoeléctricos. Para los ángulos y las flexiones lineales particularmente precisas y de alta precisión, se pueden emplear juntas de flexión. Estas últimas, tienen la ventaja de funcionar sin fricción, sin juego y sin la necesidad de lubricantes.

2.3.2.2 Articulaciones

Los hexápodos para posicionamiento de precisión a menudo tienen uniones cardánicas con dos ejes ortogonalmente dispuestos. Esta es la combinación óptima de dos grados de libertad y la rigidez de la estructura. Las articulaciones esféricas ofrecen más grados de libertad en un diseño relativamente simple (véase figura 8). Sin embargo, la rigidez y precisión generales pueden sufrir en el caso de cargas externas y par.



Figura 8.- Articulaciones esféricas.

2.3.2.3 Espacio de trabajo

El espacio de trabajo de un hexápodo son todas las combinaciones de movimientos lineales y/o rotativos que un hexápodo puede abordar desde cualquier posición dada. Se da en referencia al origen del sistema de coordenadas utilizado.

El espacio de trabajo puede estar limitado por factores externos tales como obstáculos o las dimensiones y la posición de la carga.

Actualmente existen herramientas de software que simulan el espacio de trabajo y que pueden verificar eventuales colisiones con objetos en el entorno (véase el ejemplo de la figura 9 y 10).

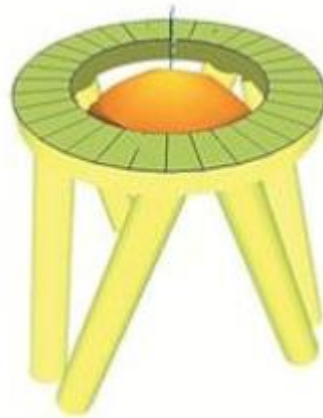


Figura 9.- Simulación hexápodo.

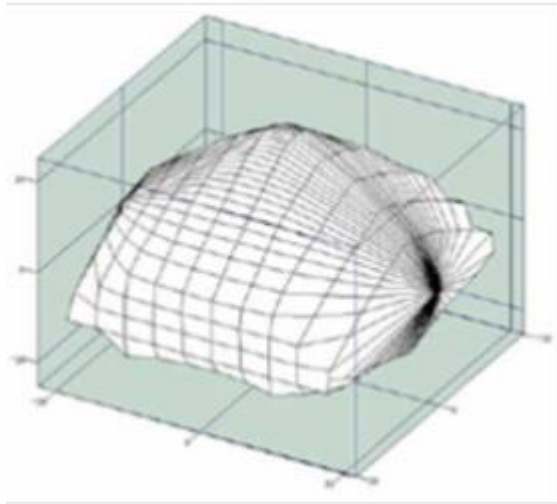


Figura 10.- Simulaciones para varios espacios de trabajo hexápodos.

2.3.2.4 Control avanzado de movimiento

Para poder utilizar un hexápodo como sistema de posicionamiento es necesario emplear un controlador que pueda manejar las transformaciones de coordenadas requeridas en tiempo real. Por ejemplo, el fabricante PI emplea para sus hexápodos, controladores digitales avanzados junto con un software fácil de usar. En este caso todos los comandos de movimiento se especifican en coordenadas cartesianas, y todas las transformaciones en los actuadores individuales tienen lugar dentro del controlador.

2.4 Nanosensores de capacitancia (sensores capacitivos)

Los sensores capacitivos que se conectan a los sistemas de posicionamiento son capaces de medir la posición real de la parte móvil en relación con la base del sistema de posicionamiento (metrología directa). Con estos sensores los errores que se producen en el sistema guía no influyen en las mediciones.

Un ejemplo de las ventajas de estos sensores es cuando los conectamos a los sistemas de nanoposicionamiento piezoeléctrico que son capaces de conseguir una linealidad de movimiento excepcional, una gran estabilidad a largo plazo y un circuito servo de posición rígido y de respuesta rápida, ya que los errores externos son detectados inmediatamente por el sensor y realimentados (véase figura 11 y 12 para más detalle).



Figura 11.- Sensores capacitivos de diferentes tamaños.

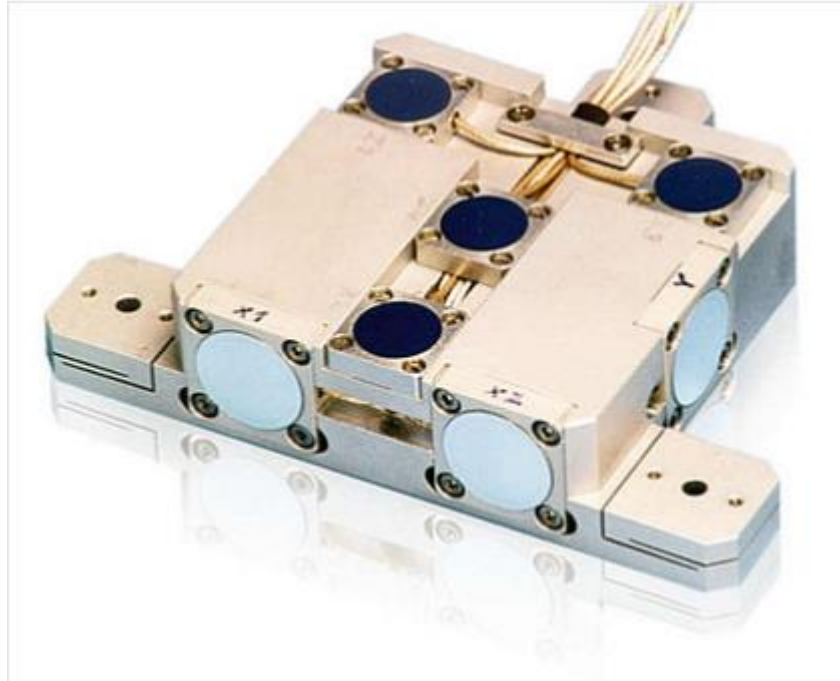


Figura 12.- Sensores de posición capacitivos en un sistema de nanoposicionamiento.

2.5 Motores eléctricos giratorios

Uno de los elementos más importantes que forman parte de cualquier sistema de posicionamiento, son los motores ya que estos son los que permiten realizar el posicionamiento. A continuación, se muestran los distintos tipos de motores eléctricos giratorios que pueden incorporarse en un sistema de posicionamiento.

2.5.1 Motor de corriente continua / servomotor

Un servo motor es un motor de corriente continua que es capaz de ubicarse en distintas posiciones siempre y cuando se encuentre dentro de su rango de operación.

Las características más comunes que poseen los servomotores son que operan de forma constante, sin vibraciones, poseen un amplio rango de velocidad y pares elevados a baja velocidad. El servomotor tiene numerosas ventajas, tales como buena dinámica, direccionamiento rápido, pares altos a bajas velocidades, generación de calor reducida y baja vibración.

2.5.2 Motor paso a paso

El motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte la energía eléctrica en desplazamientos angulares discretos (energía mecánica), lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control.

A diferencia de los motores de corriente continua, los motores paso a paso sólo ocupan posiciones discretas en una revolución. Como estos pasos tienen una distancia constante, se puede ordenar una posición usando la cantidad de pasos sin necesidad de un sensor de posición.

Los motores paso a paso tienen una vida útil muy larga y, en comparación con los motores de corriente continua, son especialmente adecuados para aplicaciones con una dinámica reducida y en el vacío. Un amortiguador mecánico en el eje del motor, que también sirve como volante, garantiza la suavidad de funcionamiento.

2.6 Sistemas de guía

Otro de los elementos que forman parte de los sistemas de posicionamiento, son los sistemas guías. Como su propio nombre indica, estos sistemas son los encargados de dirigir al sistema de posicionamiento en una dirección u otra. A continuación, se muestran distintos tipos de sistemas guías.

2.6.1 Sistemas de guía clásicos y transmisión de fuerza

Los sistemas clásicos de guía mecánicos se utilizan en posicionadores cuyo rango de desplazamiento son de varios milímetros hasta un metro. Estos sistemas generalmente son engranajes, tornillos, husillos y cojinetes (véase figura 13 y 14).

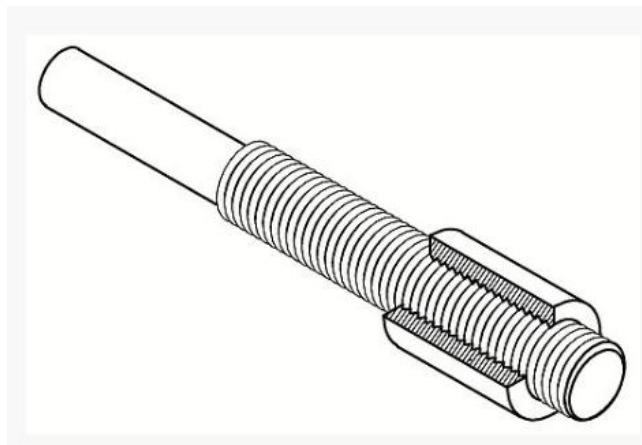


Figura 13.- Tornillo de cabeza.

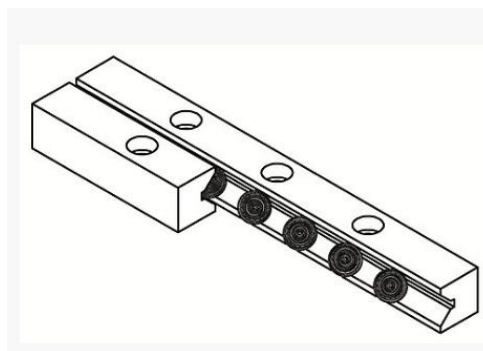


Figura 14.- Rodamiento de bolas lineal.

2.6.2 Sistemas de guía a través de juntas de flexión

En la tecnología de nanoposicionamiento, las guías de flexión han demostrado ser adecuadas para tareas de posicionamiento de hasta varios milímetros. El movimiento de una junta de flexión se basa en la deformación elástica de un sólido, evitando así cualquier fricción estática, rodante o deslizante.

Sus ventajas son la alta rigidez, la capacidad de carga y la resistencia al desgaste. Las flexiones son libres de mantenimiento, pueden fabricarse con materiales no magnéticos, no requieren lubricantes o consumibles y, por lo tanto, también funcionan, sin ningún problema, en el vacío (véase figura 15).

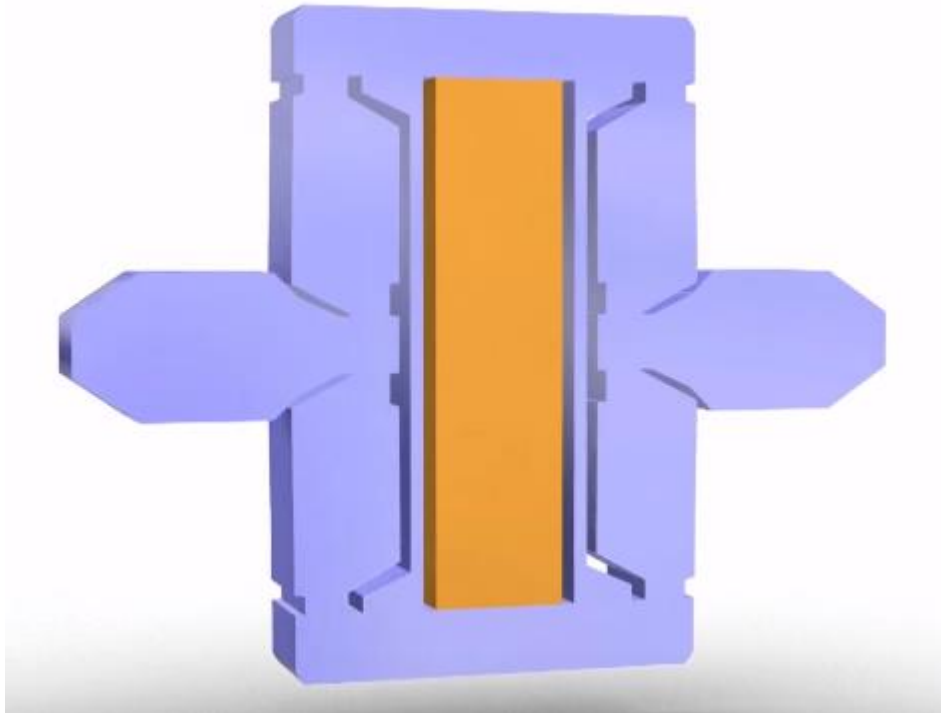


Figura 15.- Sistema de guía a través de junta de flexión.

2.6.3 Sistemas de guía a través de rodamientos magnéticos

En la actualidad, la levitación magnética proporciona una gran precisión de guiado en un plano, tanto lineal como rotativo.

En estos sistemas se hace pasar una varilla a través de un campo magnético consiguiendo que dicha varilla levite y sea guiada por el campo magnético.

2.7 Software de controlador

Muchos fabricantes de sistemas de posicionamiento han desarrollado software que permite controlar dicho sistema. Este software y los controladores suelen estar siempre disponibles para los clientes sin cargo a través de Internet.

Alguna de las características que puede tener estos softwares es que cubre todos los aspectos de la aplicación, desde la fácil puesta en marcha hasta la ejecución de cualquier operación del sistema a través de una interfaz gráfica o su integración rápida en programas externos.

Capítulo 3

Herramientas

3.1 FreeCAD

FreeCAD es un programa de diseño asistido por ordenador (del inglés Computer Aided Design, CAD). Este CAD en particular, es un programa informático que se utiliza para diseñar objetos físicos en dos o tres dimensiones.

FreeCAD es de código abierto, es decir, la creación de su código no es un trabajo unidireccional entregado por sus desarrolladores, sino que depende de su comunidad para crecer, obtener características y estabilizarse (solucionar errores).

Este programa está hecho principalmente para diseño mecánico, pero también sirve para todos los demás usos en los que se necesita modelar objetos 3D con precisión [8].

FreeCAD cuenta con herramientas similares a Catia, SolidWorks o Solid Edge [8].

Este software posee componentes en 3D y 2D. Los componentes 2D son empleados con el fin de diseñar y representar objetos en 2D. Una vez que se tenga la representación del diseño en 2D (alzado, planta o perfil), se puede levantar dicho diseño para representarlo en 3D, empleando para ello los componentes 3D que posee FreeCAD. Otra opción de trabajo que proporciona FreeCAD es la de construir el objeto diseñando directamente en 3D.

FreeCAD hace un uso de todas las grandes bibliotecas de código abierto que existen en el campo de la Informática Científica. Entre ellas se encuentran OpenCascade, un potente kernel de CAD, Coin3D, una encarnación de Open Inventor, Qt, el marco de interfaz de usuario de fama mundial y Python, uno de los mejores lenguajes de scripting disponibles. FreeCAD también puede ser usado como biblioteca por otros programas [8].

FreeCAD también es completamente multiplataforma, y actualmente funciona sin problemas en sistemas Windows y Linux / Unix y Mac OSX, con el mismo aspecto y funcionalidad en todas las plataformas [8].

3.1.1 Características

Una de las características que más destaca en FreeCAD es que está separado en bancos de trabajo (véase figura 16 para más detalle). Un banco de trabajo es una colección de herramientas adecuadas para una tarea específica, como trabajar con mallas, dibujar objetos 3D, etc. FreeCAD permite cambiar el banco de trabajo actual con el selector del banco de trabajo. También se puede personalizar las herramientas incluidas en cada banco de trabajo, agregar herramientas de otros bancos de trabajo o incluso herramientas de creación propia, que llamamos macros.

Cuando se inicia FreeCAD, se puede ver el centro de inicio que permite ir rápidamente a uno de los bancos de trabajo más comunes, abrir uno de los archivos recientes o ver las últimas noticias del mundo de FreeCAD.

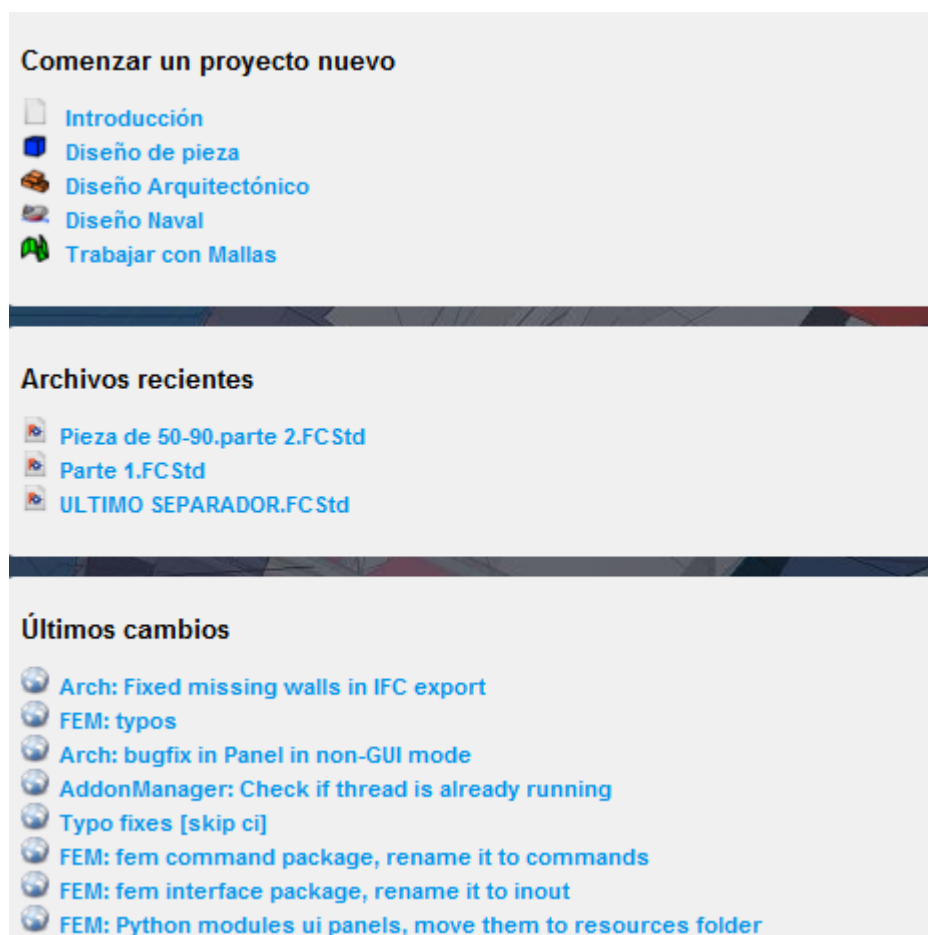


Figura 16.- Centro de inicio FreeCAD.

Sin embargo, las características clave de FreeCAD son las siguientes:

- **kernel de geometría completo basado en la tecnología Open CASCADE:** Este kernel permite a los usuarios realizar complejas operaciones 3D como por ejemplo curvas, superficies, creación de figuras geométricas, operaciones booleanas, etc (ver ejemplo de la figura 17).

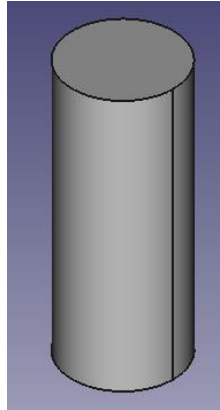


Figura 17.- Figura geométrica creada con kernel de geometría FreeCAD.

- **Modelo paramétrico completo:** Los objetos que se crean en FreeCAD son paramétricos, es decir, modificando las propiedades de un objeto, podemos modificar su forma. A modo de ejemplo podemos ver en la figura 18 las propiedades del objeto de la figura 17.

Propiedad	Valor
Base	
▲ Placement	[(0,00 0,00 1,00); 0 °; (0 m...
Angle	0 °
▷ Axis	[0,00 0,00 1,00]
▷ Position	[0 mm 0 mm 0 mm]
Label	Cilindro
Cylinder	
Radius	2 mm
Height	10 mm
Angle	360,00 °

Figura 18.- Propiedades de los objetos diseñados en FreeCAD.

- **Importar/ Exportar:** FreeCAD permite tanto la importación como la exportación de archivos de formatos estándar como STEP, IGES, OBJ, STL, DXF, SVG, STL, DAE, IFC u OFF, NASTRAN, VRML además del formato de archivo Fcstd nativo de FreeCAD.
- **Dibujante con resolución de restricciones:** Esta característica de FreeCAD se ve cuando diseñamos piezas en 2D y básicamente consiste en aplicarle a las líneas del dibujo una serie de restricciones para asegurarnos de que la pieza ha sido diseñada correctamente (ver figura 19). Una característica importante de este dibujante es que te dice si la pieza dibujada posee

grados de libertad e incluso te dice si hay algún error como por ejemplo si hay dos puntos que no se han unido, etc.

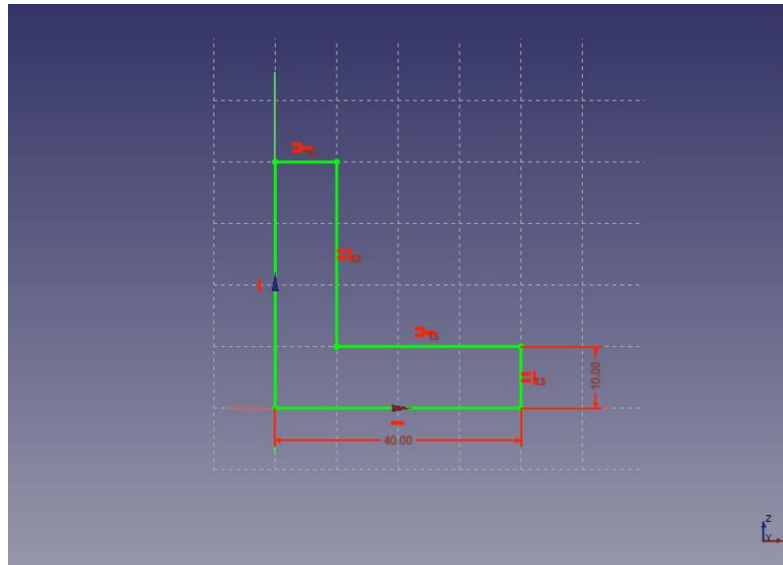


Figura 19.- Pieza 2D con restricciones.

- **Módulo de simulación de robots:** FreeCAD posee un módulo que permite simular los movimientos que puede realizar un robot. Incluso podría simular los movimientos de la impresora 3D que se usó en este proyecto (véase el ejemplo de la figura 20).

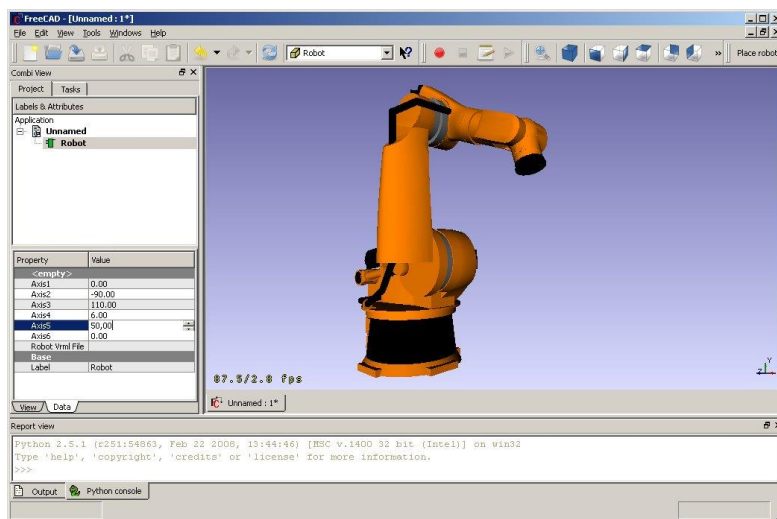


Figura 20.- Simulación de robot en FreeCAD.

- **Módulo de hojas de dibujo:** Este módulo permite poner en una hoja una vista en 2D de las piezas hechas en 3D. Estas hojas se pueden exportar en formato SVG o PDF (véase figura 21 para más detalle).

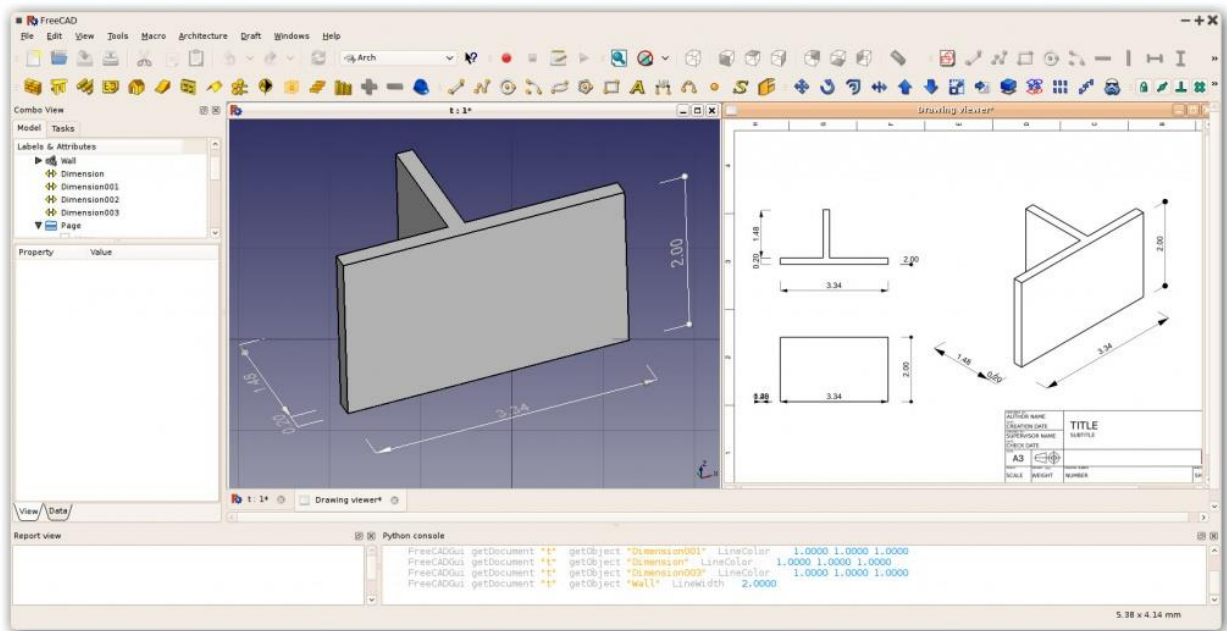


Figura 21.- Hoja de dibujo.

- **Módulo de renderizado:** Este módulo permite que se exporten objetos en 3D para poder renderizarlos a partir de renderizadores externos. Actualmente solo es compatible con povray y LuxRender, pero se espera que se extienda a otros renderizadores en el futuro (ver el ejemplo de la figura 22).

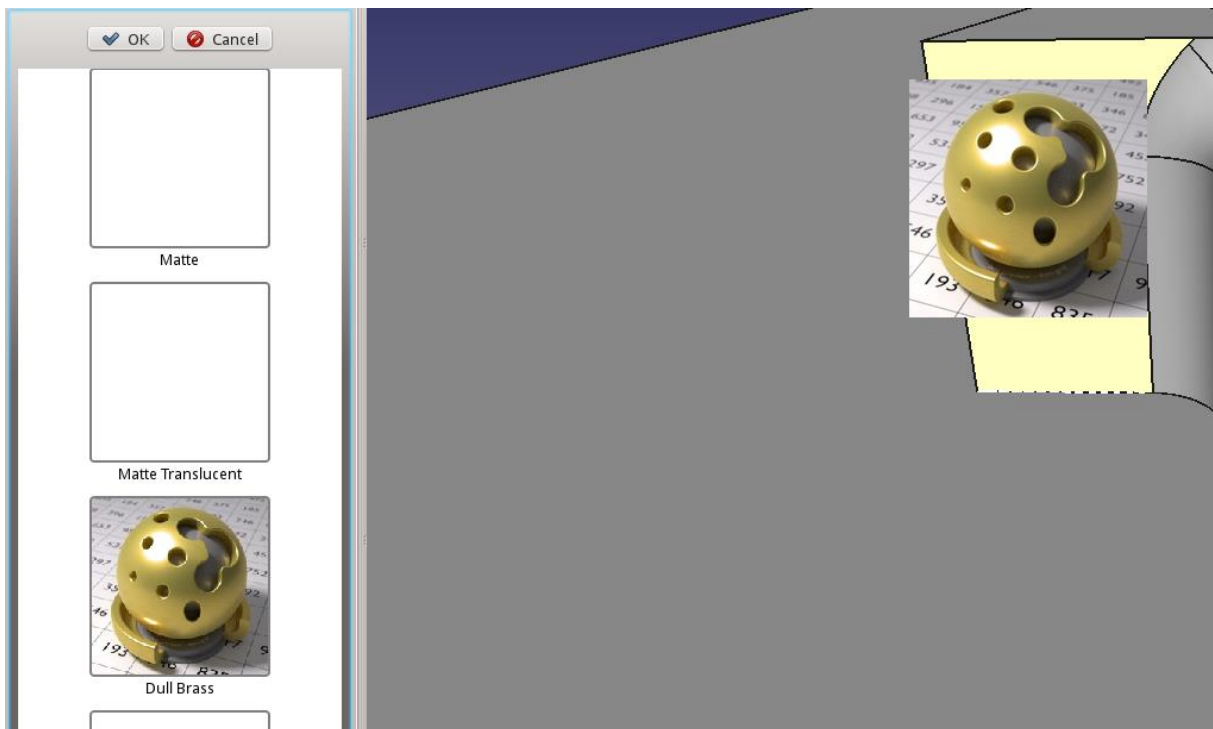


Figura 22.- Renderizado de pieza 3D.

- **Módulo de arquitectura:** Este permite un flujo de trabajo tipo BIM, con compatibilidad IFC.
- **Módulo de ruta:** Modulo dedicado al mecanizado mecánico como fresado (CAM), y es capaz de dar salida, visualizar y ajustar el código G.

3.1.2 ¿Por qué se utilizó este software?

Como se puede ver en los puntos anteriores FreeCAD es el software perfecto para el diseño de piezas 3D, además es bastante intuitivo y fácil de usar. Sin embargo, el auténtico motivo por el que se eligió este software es porque es gratuito y fácil de instalar.

3.2 Cura

Cura es un programa de laminación e impresión compatible con Windows, MAC y Linux. Se ha usado para generar el G-Code de las piezas que componen el sistema de posicionamiento.

Lo que hace este programa es procesar un archivo STL y traducir la geometría representada a lenguaje máquina G-Code.

Antes de generar el G-Code es necesario elegir ciertas configuraciones. Las configuraciones que se han elegido han sido las necesarias para imprimir en 3D por la técnica de fusión (técnica que se ha usado en este proyecto). Esta técnica consiste en ir alimentando con un filamento (en este caso de PLA), un extrusor que lo funde y lo deposita en capas siguiendo un recorrido con la forma que tiene el objeto a cada altura. Por lo tanto, a la hora de usar este software la configuración que se da es lo más importante ya que una mala configuración puede provocar que la pieza no se imprima correctamente.

Existen varias formas de ejecutar el G-Code en la impresora, pero la que se ha utilizado en este proyecto es la de guardar el G-Code generado por el Cura en una tarjeta de memoria SD. Luego esta memoria SD se introduce en la impresora para posteriormente ejecutar el archivo G-Code que se ha guardado.

3.2.1 Configuración personalizadas

Hay muchos parámetros que determinan la manera en la que se realiza el cálculo de las trayectorias que definirán el objeto, así como la impresión. El programa Cura, incluye la mayoría de estos parámetros predeterminados para una impresión óptima, pero hay otros que habrá que verificar, y en su caso modificar.

Lo primero que hacemos cuando ejecutamos el cura por primera vez es elegir el tipo de impresora con la que se va a trabajar (véase figura 23 para más detalle). Esto es necesario ya que el cura crea una simulación de la impresora elegida con el fin de ver los posibles problemas que puedan surgir, por ejemplo, que la pieza que se imprime sea demasiado grande y no quepa en la cama de la impresora.

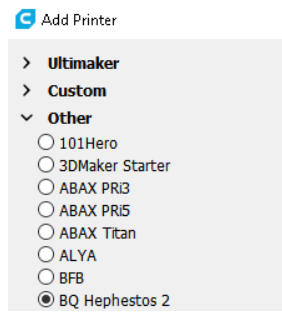


Figura 23.- Asistente de configuración.

En el caso de que se desee agregar una nueva impresora, lo único que tendríamos que hacer es dirigirnos a la parte superior del Cura, seleccionar Settings, Printer, Add Printer (estos pasos se pueden apreciar en la figura 24).

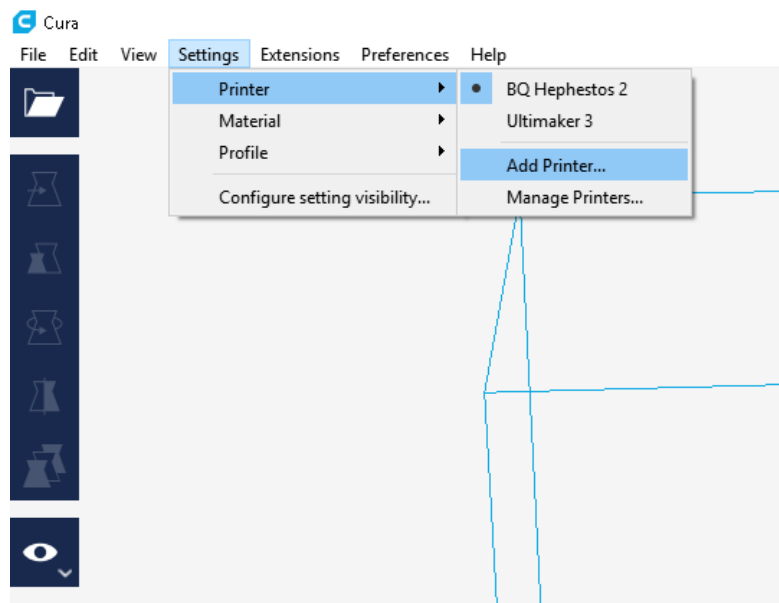


Figura 24.- Agregar nueva impresora.

Una vez elegido el tipo de impresora, se empieza a configurar los parámetros con los que se va a trabajar. Para facilitar esta labor, vamos a preferences para configurar el idioma de inglés a español (ver figura 25).

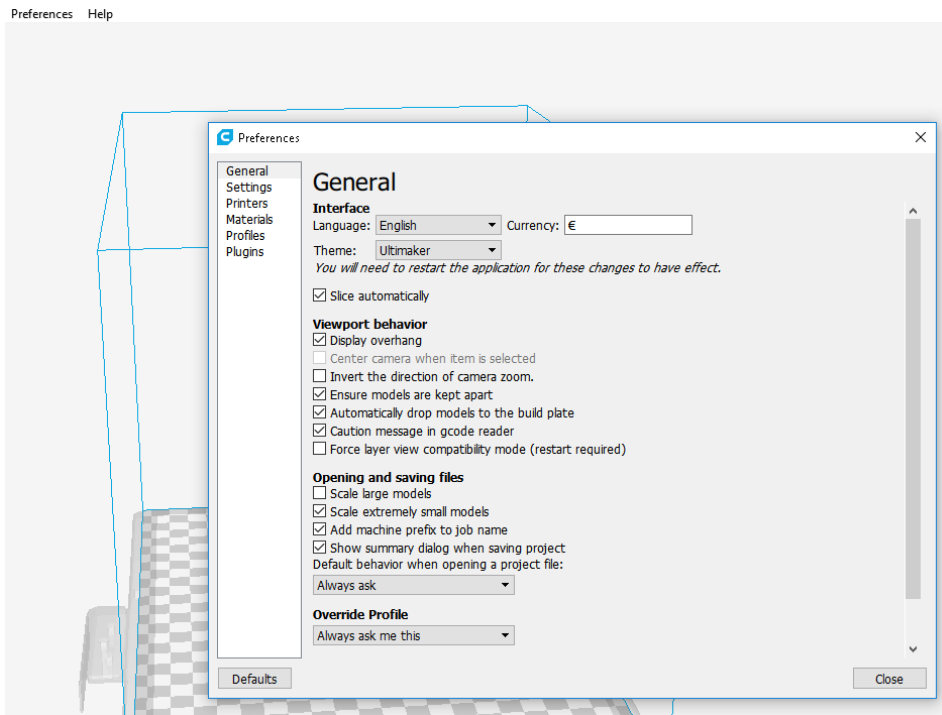


Figura 25.- Configuración de idioma.

En la figura 26, se puede ver la configuración del perfil de impresión que se ha personalizado para realizar este proyecto.



Figura 26.- Configuración de perfil personalizada.

Antes de poder llegar a esta configuración se probó distintas combinaciones ya que muchas de ellas produjeron problemas de impresión como por ejemplo que no se produjese una buena adherencia del filamento a la cama de la impresora, piezas mal hechas, etc.

A continuación, se explica cuál es la función de los parámetros que se han modificado:

- **Altura de capa:** La pieza que se imprime se construye a partir de capas, por lo tanto, lo que define este parámetro es la altura de cada una de las capas de impresión. Los valores altos de la altura de capa producen impresiones más rápidas pero una menor resolución, mientras que los valores bajos producen impresiones lentas pero una mayor resolución.
- **Altura de capa inicial:** Permite la creación de una capa inicial que se adhiere a la cama de impresión.
- **Grosor de la pared:** Es el grosor de las paredes exteriores en dirección horizontal.
- **Grosor superior/inferior:** Es el grosor de las capas superiores e inferiores de la impresión.
- **Densidad de relleno:** Ajusta la densidad del relleno de la impresión.
- **Pasos de relleno necesarios:** Es el número de veces que se necesitan para reducir a la mitad la densidad del relleno a medida que se aleja de las superficies superiores.
- **Temperatura de impresión:** Es la temperatura a la que se va a realizar la impresión, es decir, la temperatura que alcanza el extrusor cuando inicia la impresión.
- **Diámetro:** Es el que ajusta el diámetro del filamento que se está usando. Este valor tiene que ser igual al diámetro del filamento se esté usando.
- **Flujo:** Es el encargado de compensar el flujo de material que se ha extruido. Multiplicamos este valor por la cantidad de material extruido.
- **Habilitar la retracción:** Se encarga de retraer el filamento cuando la tobera se mueve sobre un área no impresa.
- **Velocidad de impresión:** Es la velocidad a la que se realiza la impresión.
- **Velocidad de desplazamiento:** Es la velocidad a la que se desplaza el extrusor de la impresora.
- **Activar refrigeración de impresión:** Se encarga de activar los ventiladores de refrigeración de la impresora, mientras se está imprimiendo. Esto hace que mejore la calidad de la impresión.
- **Generar soporte:** Genera estructuras que permiten el soporte de piezas que poseen voladizos. Sin estas estructuras estas piezas se romperían durante la impresión.
- **Colocación del soporte:** Ajusta la colocación de las estructuras del soporte. En el caso que nos ocupa, estas estructuras se pueden imprimir en la cama de impresión y sobre la pieza que se está imprimiendo.
- **Tipo de adherencia de la placa de impresión:** Permite seleccionar diferentes opciones que ayudan a mejorar la extrusión y la adherencia a la cama de impresión. En nuestra configuración, se ha elegido realizar una falda que consiste en realizar una línea impresa alrededor del modelo, pero que no está conectada al modelo.

3.2.2 Herramientas del programa

Las herramientas que posee este programa se pueden ver en el extremo izquierdo de la figura 27.

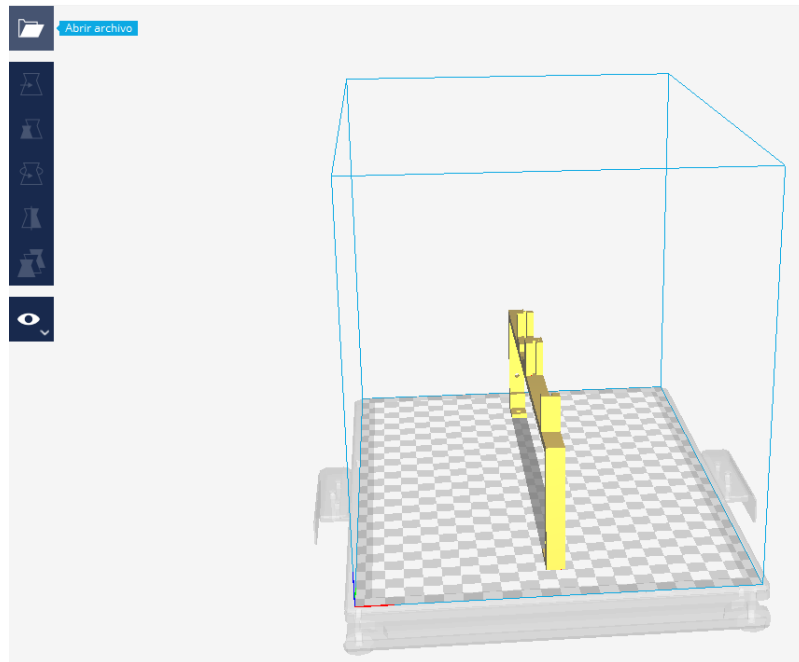


Figura 27.- Herramientas del Cura.

Estas herramientas nos permiten modificar y desplazar la pieza que se esté estudiando, con el fin de hacer que la impresión dure el menor tiempo posible. Para usar estas herramientas primero hay que hacer click con el ratón sobre la pieza que se está estudiando.

- **Mover:** Tal y como se puede apreciar en la figura 28, esta herramienta permite mover la pieza en la dirección de los ejes X, Y y Z.

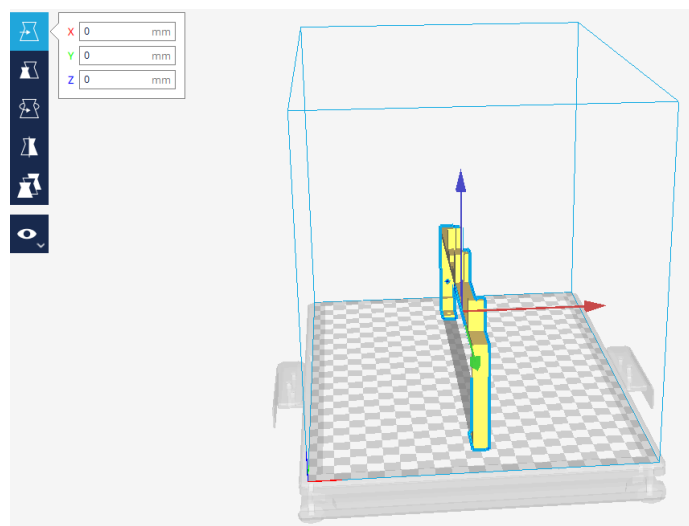


Figura 28.- Herramienta Mover.

- **Escalar:** Permite escalar la pieza, es decir, modifica las dimensiones de la pieza (véase figura 29 para más detalle).

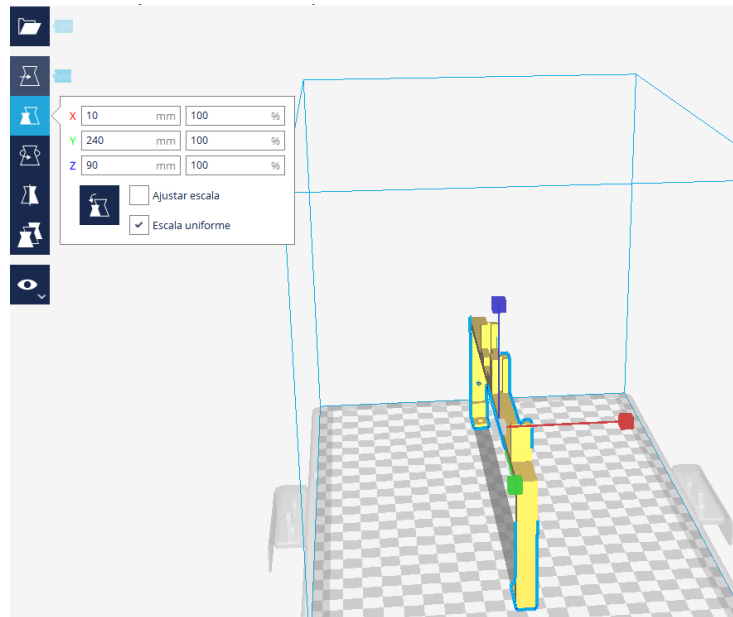


Figura 29.- Herramienta Escalar.

- **Rotar:** Permite girar la pieza en 3 ángulos distintos (véase figura 30).

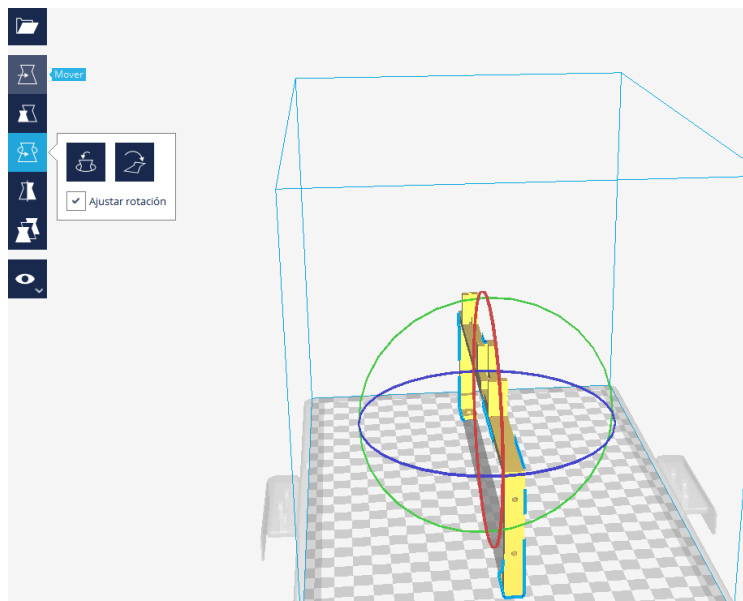


Figura 30.- Herramienta Rotar.

- **Espejo:** Permite cambiar la simetría de la pieza (véase figura 31).

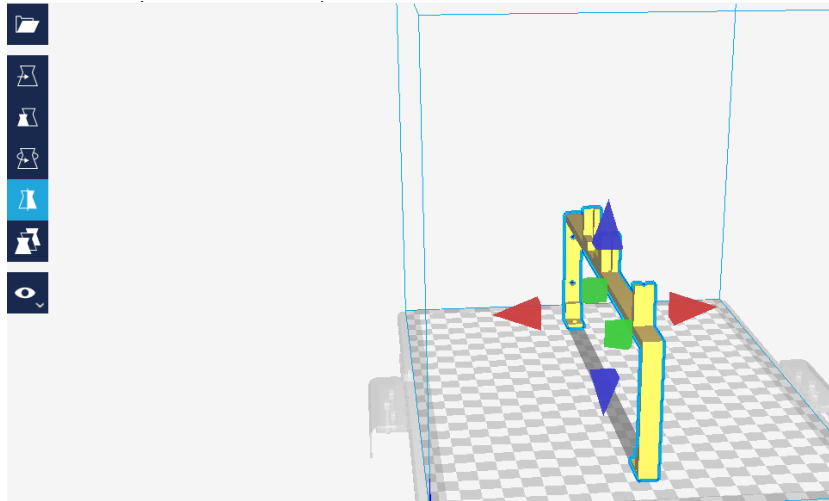


Figura 31.- Herramienta Espejo.

- **Ajustes por modelo:** Permite ajustar única y exclusivamente los parámetros de la pieza que se ha seleccionado, sin modificar el perfil de impresión que se tiene (ver figura 32).

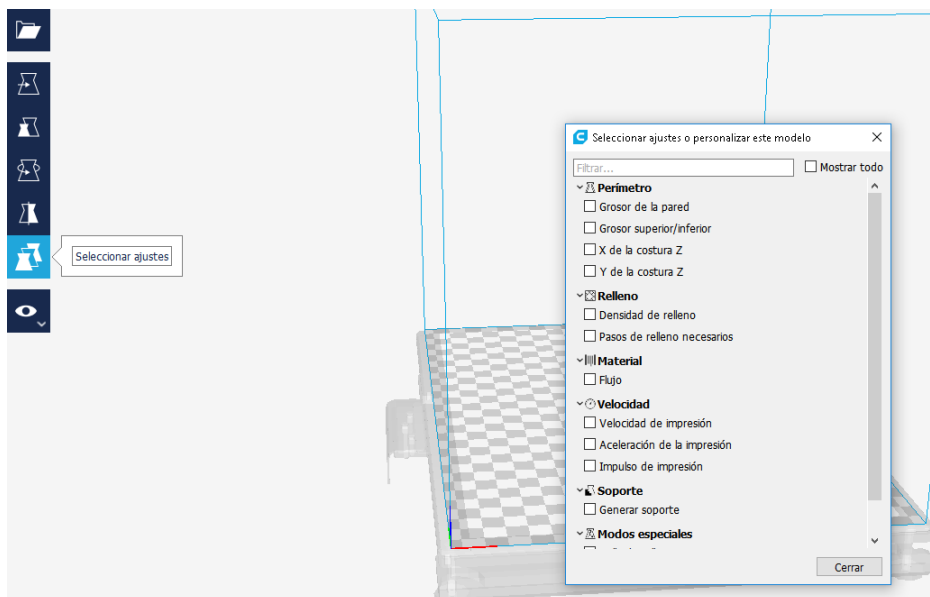


Figura 32.- Herramienta Ajustes por modelos.

- **Ver modo:** Nos permite ver la pieza de diferentes formas (un ejemplo de esto se puede ver en la figura 33). Si seleccionamos la opción capa, se pueden ver todas las capas que se van a realizar durante la impresión. También nos permite quitar y poner capas para ver cómo se va a construir la pieza desde el principio.

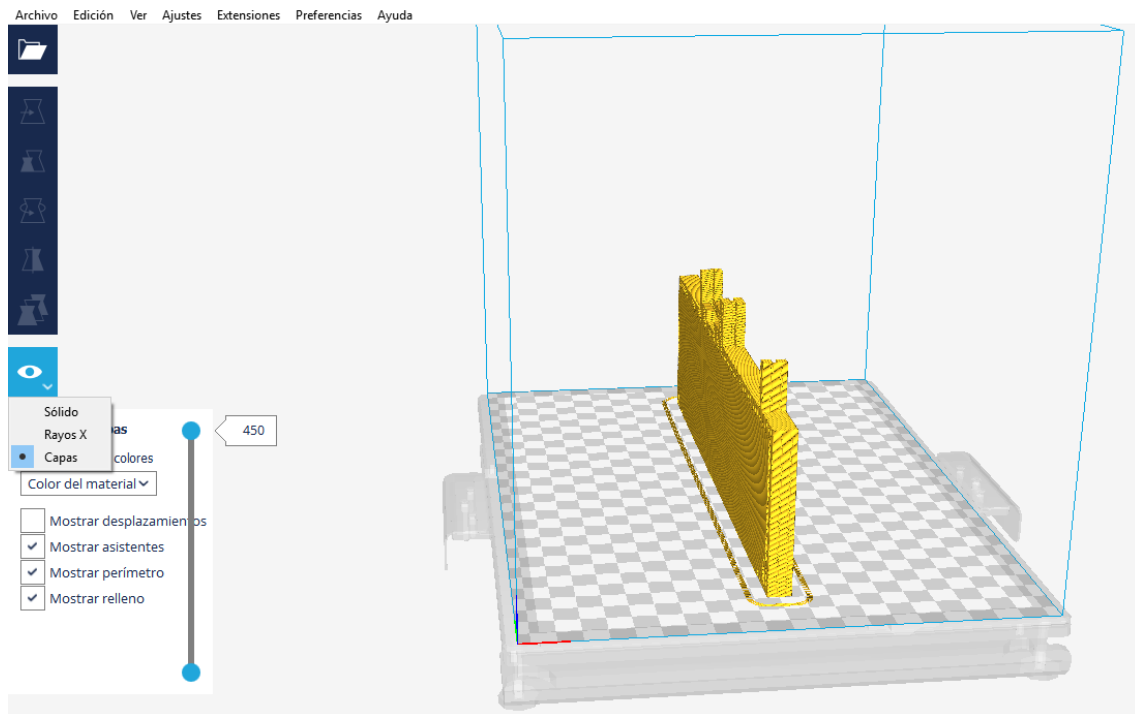


Figura 33.- Herramienta ver modo.

3.2.3 ¿Por qué se utilizó este software?

Como se ha comentado anteriormente este software no solo es capaz de generar el G-Code de la pieza que se desea imprimir, sino que nos permite configurar los parámetros con los que se va a imprimir. También es capaz de mostrarnos los recorridos que va a realizar la impresora cuando se ponga a imprimir y al igual que FreeCAD es una herramienta bastante intuitiva y fácil de usar.

Sin embargo, el motivo más importante y que ya se ha mencionado cuando se vio la herramienta FreeCAD, es que este es un software gratuito y fácil de instalar.

3.3 Impresora

Las impresoras 3D son máquinas que permiten la creación de absolutamente cualquier objeto que haya sido diseñado en un programa de diseño en 3D como AutoCad, Solidworks, FreeCAD, etc. La creación de estos objetos tridimensionales se lleva a cabo mediante la superposición de capas sucesivas de material (PLA en nuestro caso).

Las impresoras 3D ofrecen a los desarrolladores de productos, la capacidad para imprimir partes y montajes hechos de diferentes materiales con diferentes propiedades físicas y mecánicas, a menudo con un simple proceso de montaje [12].

La impresión 3D se puede usar en diferentes campos como la joyería, calzado, diseño industrial, arquitectura, ingeniería y construcción, automoción y sector aeroespacial, industrias médicas,

educación, sistemas de información geográfica, ingeniería civil y muchos otros [12] (un ejemplo de esto se puede ver en la figura 34).

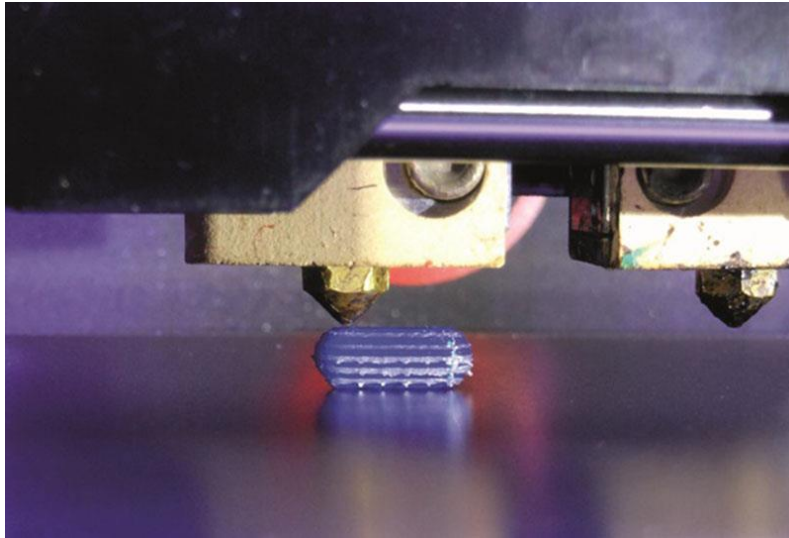


Figura 34.- Impresión de medicamento.

3.3.1 Proceso de impresión

Realmente los procesos que se llevan a cabo a la hora de imprimir es el que cada persona considera, sin embargo, los procesos que se han llevado a cabo para imprimir las piezas del presente proyecto han sido los siguientes.

1º Dibujar la pieza que se desea fabricar en una hoja de papel (ver figura 35).



Figura 35.- Croquis de pieza.

2º Diseñar la pieza en un programa de diseño asistido por ordenador (FreeCAD) (ver figura 36).

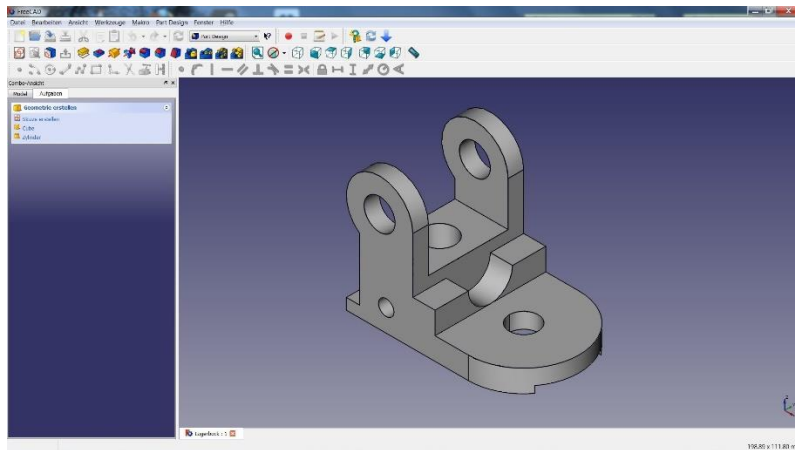


Figura 36.- Diseño de pieza en programa CAD.

3º Una vez acabada la pieza, se exporta a formato STL, que es el formato que admiten los programas de laminación.

4º Abrir el archivo STL en un programa de laminación (Cura), que es el que se va a encargar de dividir el modelo 3D en capas y generar el fichero G-Code correspondiente (ver el ejemplo de la figura 37).

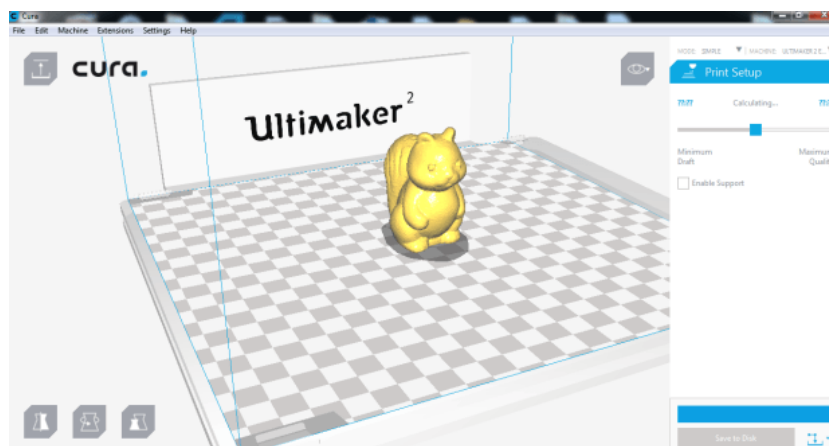


Figura 37.- Pieza en programa de laminación.

5º Introducir el archivo G-Code que se ha generado en la impresora. Para ello guardamos este archivo en una memoria SD.

3.3.2 Partes de la impresora

La impresora 3D que se ha usado para realizar este proyecto ha sido la impresora Hephestos 2 de la empresa BQ. En las siguientes figuras 38, 39 y 40, se pueden ver las partes de la impresora.

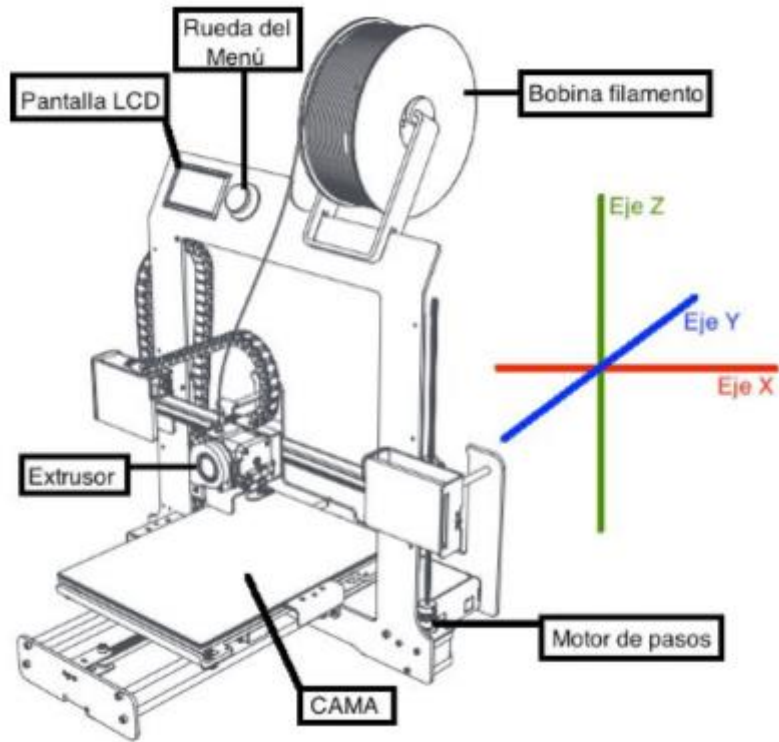


Figura 38.- Vista general.

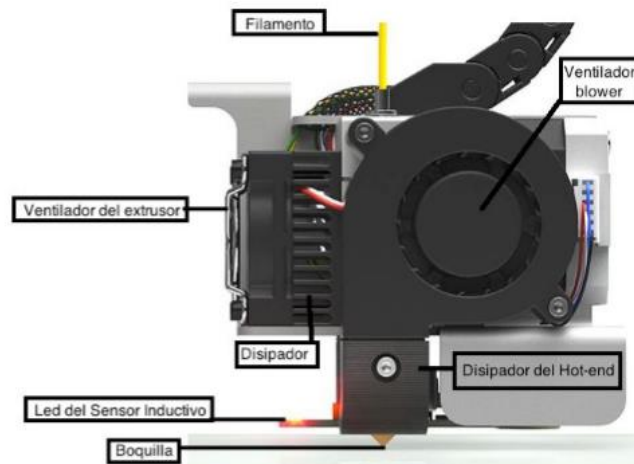


Figura 39.- Vista del extrusor.



Figura 40.- Vista del menú.

3.3.3 Características generales de la impresora

Las características técnicas que el fabricante indica sobre esta máquina quedan recogidas en las tablas 1 y 2.

Tabla 1.- Características de la impresora Hephestos 2, Parte 1.

Velocidad de impresión
Máximo 200 mm/s (sujeto a materiales, perfiles y software empleado)
Condiciones de trabajo
Temperatura de funcionamiento óptimo entre 15 °C y 25 °C
Resolución
Máximo 50 micras
Dimensiones sin bobina
Dimensiones sin bobina
(x)450 x (y)516 x (z)571 mm (estático)
(x)450 x (y)516 x (z)571 mm (dinámico)
Dimensiones con bobina
(x)450 x (y)516 x (z)661 mm (estático)
(x)450 x (y)605 x (z)661 mm (dinámico)
Dimensiones de la caja exterior
(x)627 x (y)465 x (z)207 mm
Dimensiones del área de impresión
(x)210 x (y)297 x (z)220 mm
Materiales
Filamentos 1,75 mm de diámetro: PLA, madera, bronce, cobre y Filaflex
Mecánica del extrusor
Extrusor de diseño propio con Double Drive Gear, ajuste de tracción y guiado de filamento para mantener compatibilidad con filamentos flexibles/blandos
Hot-End diseñado para un fácil mantenimiento
Boquilla de 0,4 mm para filamento de 1,75 mm
Disipador de aletas con ventilador axial controlado por Firmware
Tobera de refrigeración impresa
Mecánica general
Marco y base de aluminio pintado al polvo
Barras de cromo duro en el eje Y
Rodamiento lineal de recirculación de bolas para el eje Y
Sistema de guía más patín plano de recirculación de bolas en el eje X y Z
Cadenas portacables
Acoplamientos flexibles para las varillas roscadas del eje Z
Base fría de cristal tamaño A4 (305 x 220 mm)
Sistema de nivelado de base de impresión con 3 puntos y amortiguación
Sistema de cambio rápido de base de impresión

Tabla 2.- Características de la impresora Hephestos 2, Parte 2.

Electrónica
Controladora Zum Mega 3D de diseño propio
Sensor inductivo de diseño propio para asistencia a la nivelación de la cama
Pantalla de LCD gráfico con encoder rotativo con pulsador para la navegación
Fuente de alimentación 12V 100W
Termistor 100k en el Hot-End
Cartucho calefactor 12V 40W
Software
Firmware derivado de Marlin
Nuevas funcionalidades: auto nivelación, nivelación manual mediante sensor inductivo diseñado exclusivamente para impresión 3D, modo de inactividad
Interfaz de usuario mejorada
Entorno recomendado: Cura Software, slic3r, Repetier, Kisslicer
Archivos admitidos: .gcode
Sistemas operativos compatibles: Windows XP y superiores, Linux y Mac OS X y superiores
Comunicaciones
Lector de tarjetas SD
Puerto micro USB tipo B

3.3.4 Puesta en marcha de la impresora

Lo primero que tenemos que hacer es comprobar que el eje X e Y de la impresora se mueven correctamente. Para comprobar el eje X desplazamos el extrusor de derecha a izquierda (en la dirección del eje X) y se sabe que está bien si el desplazamiento se realiza suavemente. Lo mismo para el eje Y, pero en este caso en lugar de desplazar el extrusor, se desplaza la cama de impresión (en la dirección del eje Y). En el caso de que el desplazamiento no se realice de forma correcta se tendría que aflojar los tornillos que se pueden ver en la figura 41.

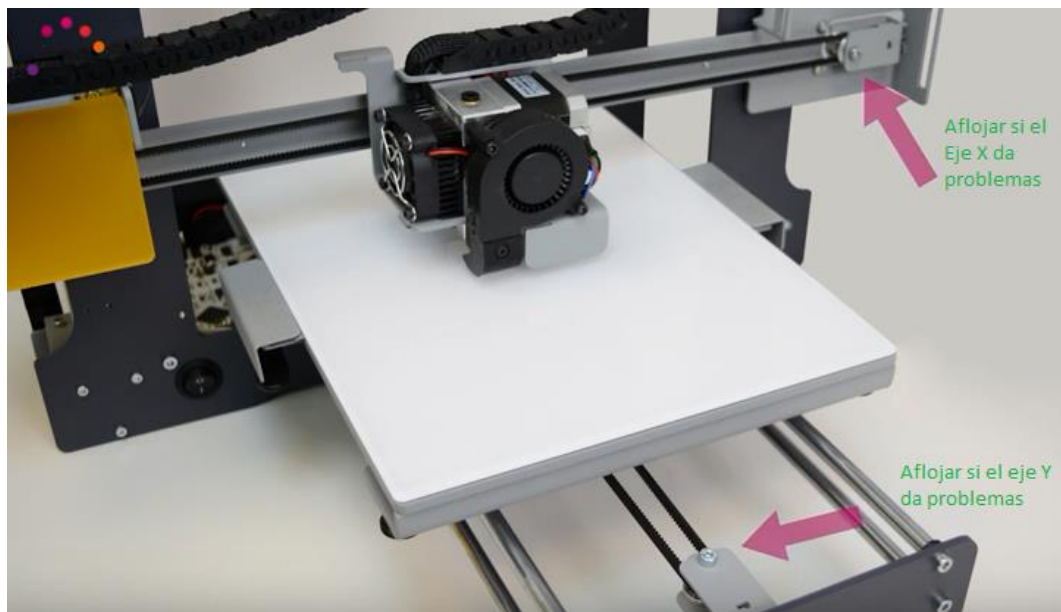


Figura 41.- Problemas con el eje X e Y.

Lo primero que se hace la primera vez que se enciende la impresora es configurar el idioma, para después calibrar el sensor del extrusor ajustando el offset.

El extrusor posee un sensor inductivo que ayuda a la impresora a detectar dónde está la base. Al activar el ajuste del offset la impresora ira moviendo sus motores para hacer una lectura de la cama de impresión, utilizando para ello este sensor. Una vez finalizada la lectura, el extrusor se para en el centro de la cama de impresión y es en este momento donde el usuario de la impresora ajusta manualmente la altura del offset (véase figura 42 para más detalles). El offset es la corrección de la distancia a la que detecta el sensor para dejar la punta caliente a la altura optima en la impresora. La idea de esto es aproximar la boquilla del extrusor a la cama hasta que estas se toquen ligeramente. Para saber si la altura es la adecuada, el autor del presente Trabajo Fin de Máster hizo pasar una hoja de papel para medir la separación que la boquilla del extrusor debe dejar en la cama de impresión. Si la hoja de papel pasa por debajo de la boquilla sin problemas, quiere decir que el offset está bien ajustado. El correcto calibrado del offset evitará errores tales como que la pieza se despegue total o parcialmente de la base o que las primeras capas queden aplastadas, el PLA se desparrame o incluso que la boquilla presione tanto la base que salga poco plástico.



Figura 42.- Ajuste del offset manualmente.

A la hora de realizar una impresión, también se tiene que tener en cuenta la nivelación de la cama de impresión. Existen dos formas mediante auto nivelación y sin auto nivelación. Con auto nivelación no hace falta nivelar la cama manualmente, pero sin auto nivelación sí. El proceso que tenemos que realizar para nivelar la cama manualmente es el siguiente.

Primero accedemos desde la pantalla LCD a la opción de nivelar base y esperamos hasta que el extrusor este caliente. Una vez el extrusor haya terminado de calentarse, este se desplaza hasta el primer punto que hay que nivelar. Para nivelar el primer punto hay que bajar la cama de impresión hasta que se apague la luz del sensor y a continuación, volver a subirla despacio hasta que se vuelva a encender. Para subir y bajar la cama hay que mover la ruedita que se ve en la figura 43.

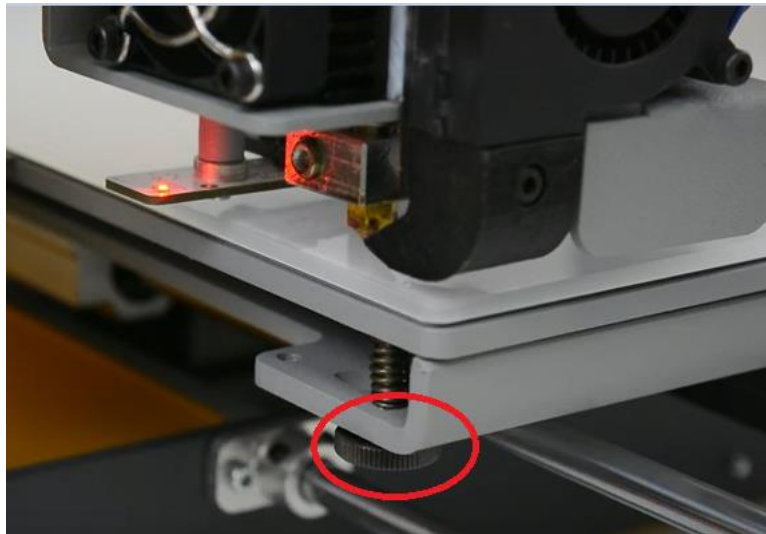


Figura 43.- Subir y bajar cama.

Este proceso se vuelve a repetir para cada uno de los puntos.

Para cargar el filamento, accedemos desde la pantalla LCD a la opción insertar filamento, elegimos una temperatura que va a depender del tipo de material que se va a fundir (200 °C) y esperamos a que se caliente la punta del extrusor. A continuación, introducimos el filamento dentro de la boquilla del extrusor y seleccionamos la opción de cargarlo, tal y como se muestra en la figura 44.



Figura 44.- Inserción de filamento.

Una vez echo todo esto y con el objetivo de conseguir que las piezas que se vayan a imprimir queden adheridas a la base, se rocía laca (para el pelo) en la cama de impresión (véase figura 45). Esto es muy importante ya que la cama de impresión es una superficie fría y el cambio de temperatura producido al entrar en contacto el filamento caliente con esta, hace que la pieza se despegue fácilmente.



Figura 45.- Rociando laca en la cama de impresión.

Por último, introducimos la tarjeta SD dentro de la impresora, seleccionamos el archivo G-Code que se ha guardado en dicha tarjeta y comenzamos la impresión (se puede ver un ejemplo de esto en la figura 46).

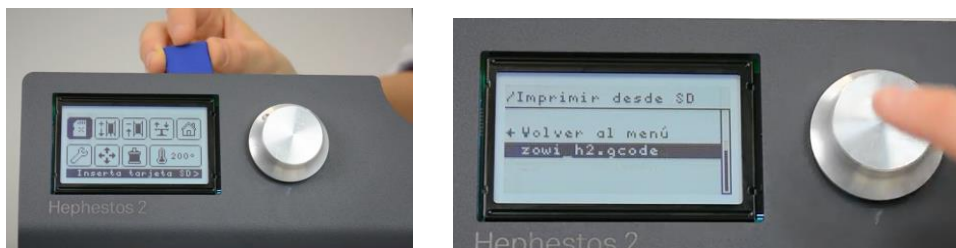


Figura 46.- Introducción de la tarjeta SD en la impresora.

Capítulo 4

Implementación

Como se ha comentado en capítulos anteriores el objetivo de este proyecto es adaptar una impresora 3D para que realice una función distinta a la función para la que se ha creado. En el caso que nos ocupa esta impresora realizara las mismas funciones que un sistema de posicionamiento. Es decir, se ha convertido una impresora 3D en un sistema de posicionamiento.

Para conseguir este objetivo se ha diseñado una serie de piezas que se han acoplado a la impresora 3D. Una vez diseñada estas piezas se ha procedido a imprimirlas con la misma impresora. También se ha llevado a cabo el estudio de numerosos códigos G, con la intención de poder comandar el sistema de posicionamiento.

4.1 Solución final

La impresora 3D que se ha empleado para realizar este TFM es la Hephestos 2 de la empresa BQ.

En esta sección hablaremos sobre las partes de las que está compuesta la impresora y como se ha adaptado para usarla como sistema de posicionamiento.

El estudio de los parámetros de este dispositivo se ha realizado teniendo en cuenta posicionamientos con 6 grados de libertad (X, Y, Z, α , β , y γ , véase la figura 47 y 48 para más detalle) entre la etiqueta y el lector.

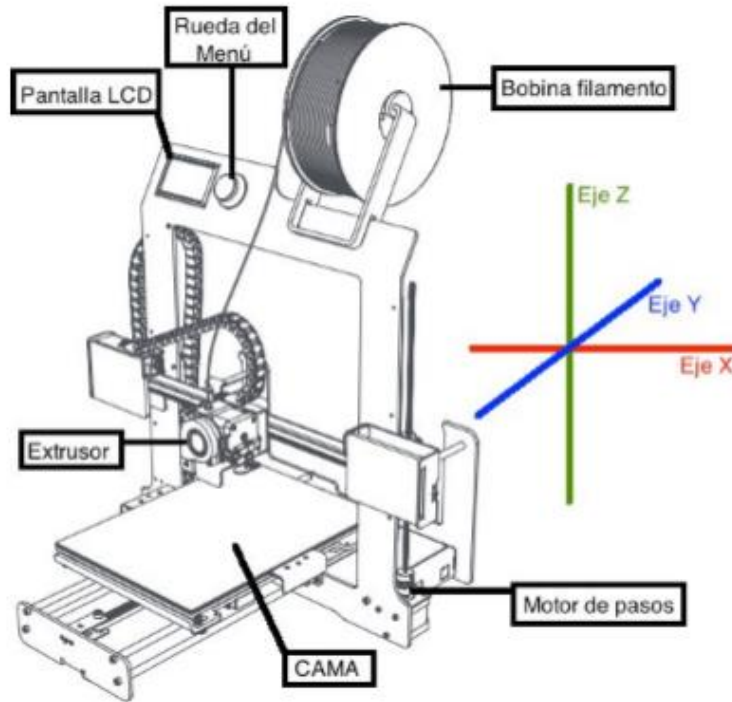


Figura 47.- Vista general de la impresora Hephestos 2.

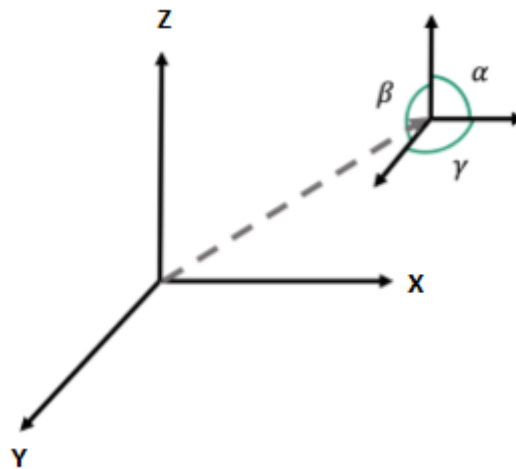


Figura 48.- Sistema de coordenadas propuesto con 6 grados de libertad.

Lo que se ha hecho es diseñar un conjunto de piezas que permite la sujeción del Tag y del Reader del sistema PalFi a la impresora 3D. También se han diseñado tanto para el Reader como para el Tag unos portacables cuya finalidad es evitar que los cables de conexión de estos perjudiquen el funcionamiento normal del sistema de posicionamiento.

Los motores de paso que se ven en la figura 49, se encargan de mover los distintos ejes de la impresora para con ello dar forma a los objetos que se imprimen. La función que va a tener estos motores en el sistema de posicionamiento es la de mover en distintas posiciones el Reader y el Tag. El Reader

va a estar acoplado a la cama de la impresora por lo que solo podremos posicionarlo en la dirección del eje Y. Sin embargo, el Tag está acoplado en el extrusor por lo que se moverá en la dirección de los ejes X e Z.

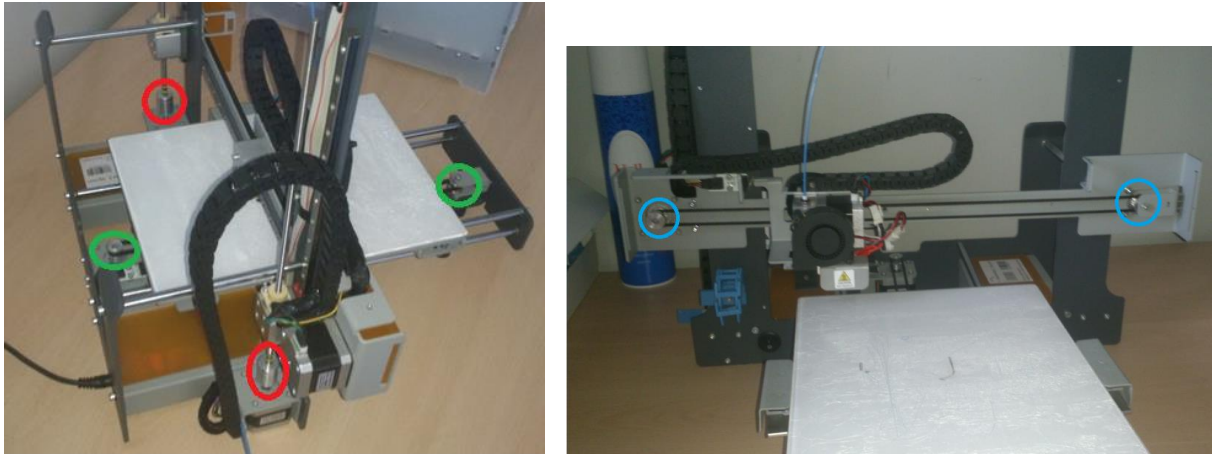


Figura 49.- Motores de paso de la impresora 3D.

Los motores marcados con un círculo rojo y azul son los que controlan al extrusor. Los que están marcados con un círculo rojo permiten el movimiento en la dirección del eje Z y los marcados con círculos azules permiten el movimiento en la dirección del eje X.

Por último, los motores marcados con círculos verdes son los que controlan el movimiento de la cama de impresión y van a hacer que esta se mueva en la dirección del eje Y

A continuación, se muestran las distintas piezas que se han diseñado para transformar una impresora 3D en un sistema de posicionamiento preciso.

4.1.1 Montaje del sistema de posicionamiento

En la figura 50, se puede apreciar todas las piezas que se han diseñado y que son necesarias para transformar la impresora Hephestos 2 en un sistema de posicionamiento preciso para inductores RFID empleados en el estándar PalFi. También se puede apreciar las posiciones que van a ocupar cada pieza en la impresora.

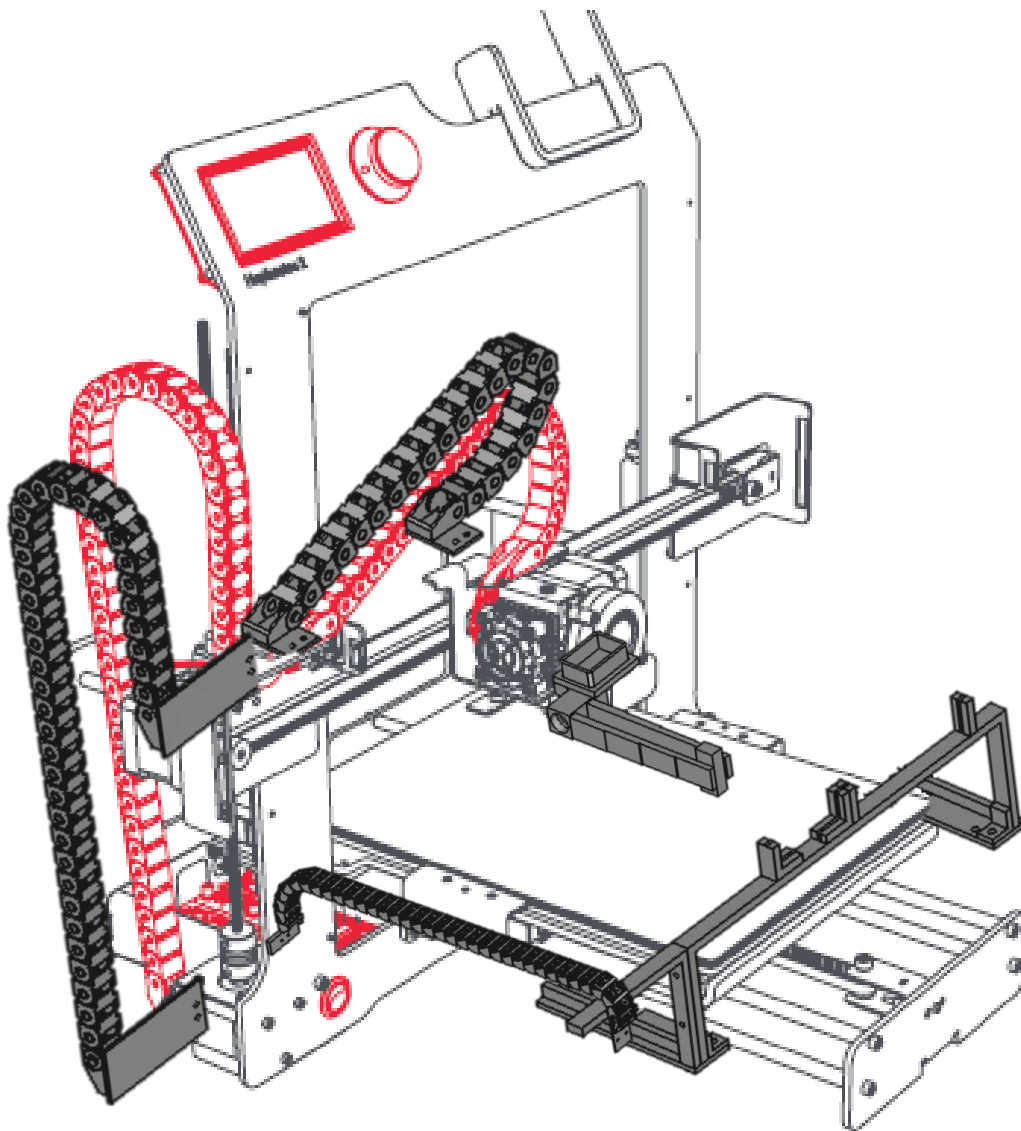


Figura 50.- Montaje del sistema de posicionamiento.

Más adelante se estudiarán estas piezas en mayor profundidad, no obstante, a continuación, veremos un breve resumen de la función que realiza cada pieza en el sistema de posicionamiento.

En la figura 51, se puede ver todas las piezas que han sido necesarias diseñar para contener el Reader del sistema PalFi. Como se puede apreciar ha sido necesario diseñar 3 piezas, que han sido bautizadas de la siguiente forma:

- **Soporte del Reader:** Es la pieza que va a emplazar el Reader.
- **Acoplador Reader:** Va a permitir la conexión del soporte del Reader y la cadena portacable 2.
- **Separador Reader:** Permite conectar y separar el soporte del Reader y la cama de impresión.



Figura 51.- Sistema de sujeción del Reader.

En la figura 52 se puede apreciar las 3 piezas que han sido necesarias diseñar para crear el sistema de cableado del Reader. La misión de este sistema es contener los cables de medida y de alimentación del Reader, permitiendo controlarlos para que no causen problemas al iniciar el movimiento del sistema de posicionamiento. Estas 3 piezas han sido bautizadas de la siguiente forma:

- **Extremo inicial de cadena portacable 2:** Permite el acoplamiento de la cadena portacable a la impresora 3D.
- **Extremo final de cadena portacable 2:** Permite el acoplamiento de la cadena portacable a la pieza bautizada como acoplador Reader.
- **Cadena portacable 2:** Emplaza los cables del Reader.

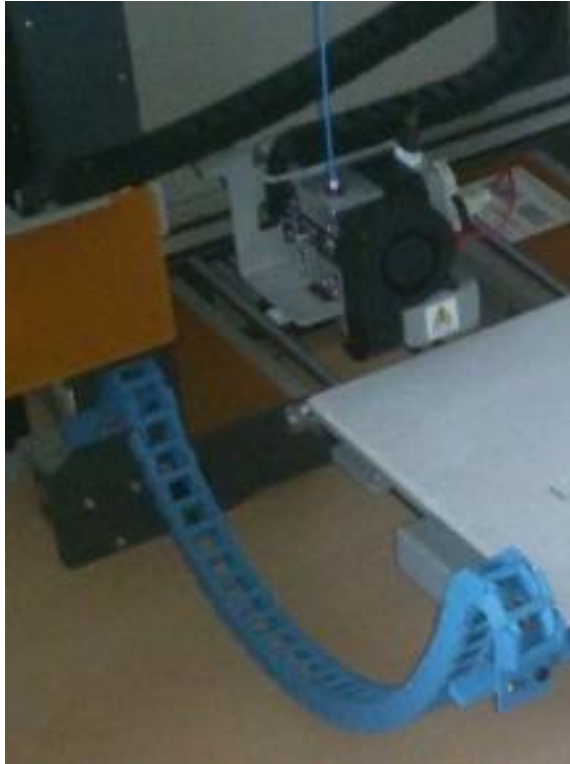


Figura 52.- Sistema de cableado del Reader.

En la figura 53 se reflejan las 2 piezas que conforman el sistema de sujeción del Tag. La misión de estas piezas son dos, acoplar el Tag a la impresora 3D y evitar que el tornillo que permite dicho acoplamiento interfiera en el campo magnético de la bobina del Tag. Estas dos piezas han sido bautizadas de la siguiente forma:

- **Acoplador Tag:** Permite acoplar el soporte del Tag al extrusor de la impresora.
- **Soporte de Tag:** Permite emplazar el Tag sin que se vea afectado el campo magnético que este genera.

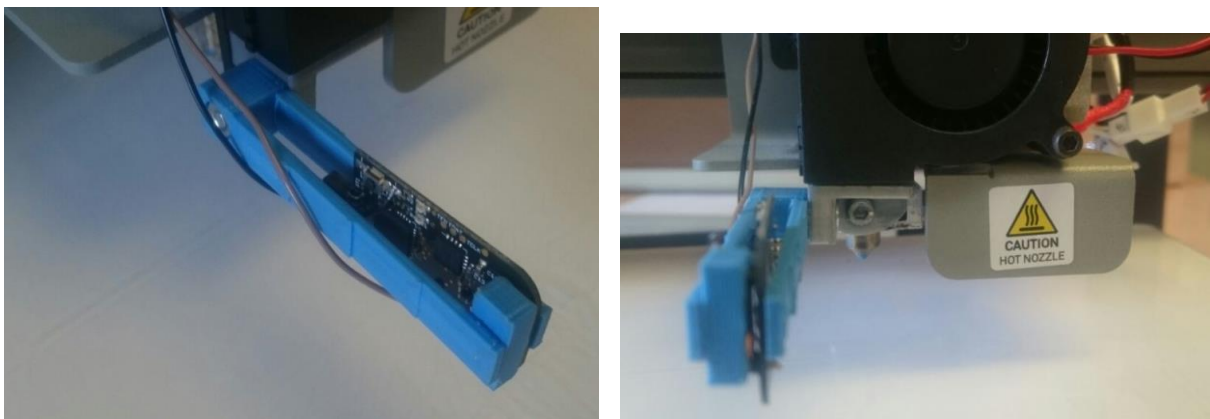


Figura 53.- Sistema de sujeción del Tag.

La figura 54 muestra las 3 piezas que han sido diseñadas con el fin de emplazar los cables de alimentación del Tag.

Estas piezas han sido bautizadas de la siguiente forma:

- **Cadena portacable 1:** Emplaza los cables de alimentación del Tag.
- **Acoplador 1 de cadena:** Permite acoplar el portacable 1 a la impresora.
- **Acoplador 2 de cadena:** Permite acoplar el portacable 1 a la impresora.

En cuanto al portacables 1, se ha decidido que este sea exactamente igual al portacables que posee la impresora de fábrica. El acoplamiento del portacables se realizará con los acopladores de cadena. La idea es colocar los portacables que posee la impresora de fábrica de forma paralela a los portacables que se han sido impresos (uno al lado del otro).

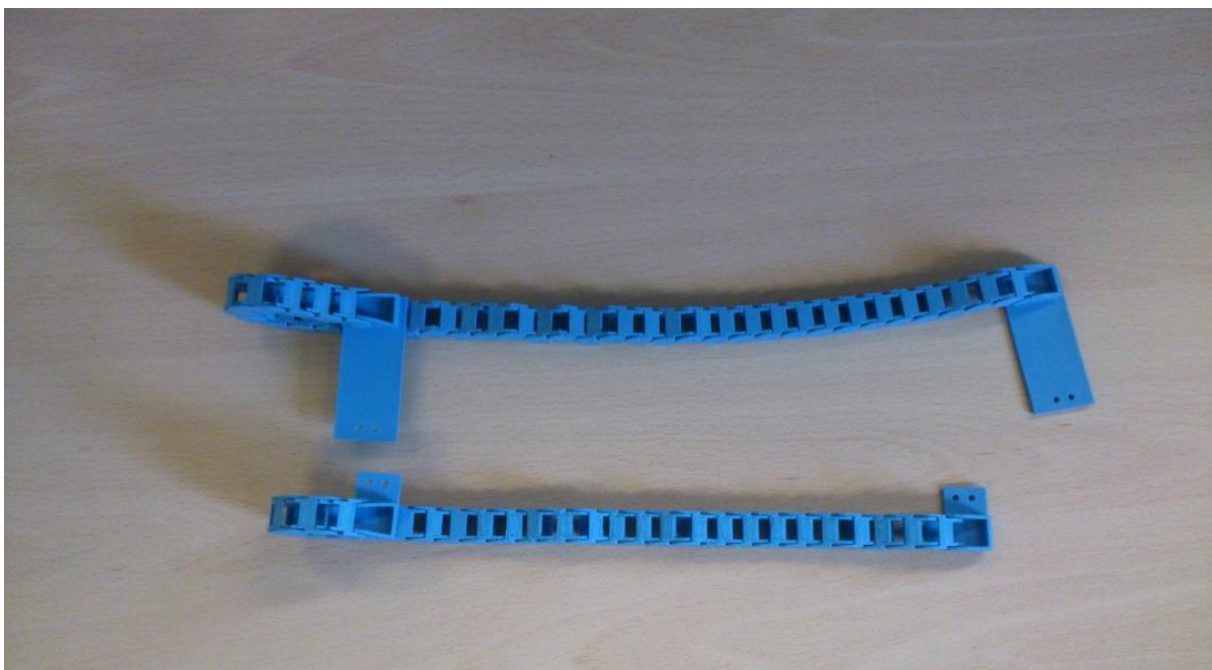


Figura 54.- Sistema de cableado del Tag.

4.2 Piezas diseñadas

A continuación, se explicará en detalle y por separado cada una de las piezas que se han diseñado en este Trabajo Fin de Máster.

4.2.1 Soporte del Reader

Esta pieza se ha diseñado con el fin de emplazar el Reader del sistema PalFi. Como se puede ver en la figura 55, esta pieza posee unas aberturas que permite posicionar el Reader en dos posiciones, vertical o horizontal. Se ha realizado este diseño con el objetivo de ver en qué posición podemos obtener mejores resultados.

En el extremo vertical derecho hay dos agujeros que sirven para permitir el acoplamiento del soporte del Reader al acoplador del Reader. Este acoplamiento se realizará mediante tornillos de aproximadamente 3 mm de diámetro.

En la base de la pieza hay dos agujeros (extremo derecho e izquierdo). El objetivo de estos agujeros es permitir el acoplamiento del soporte del Reader con la pieza bautizada como separador Reader.

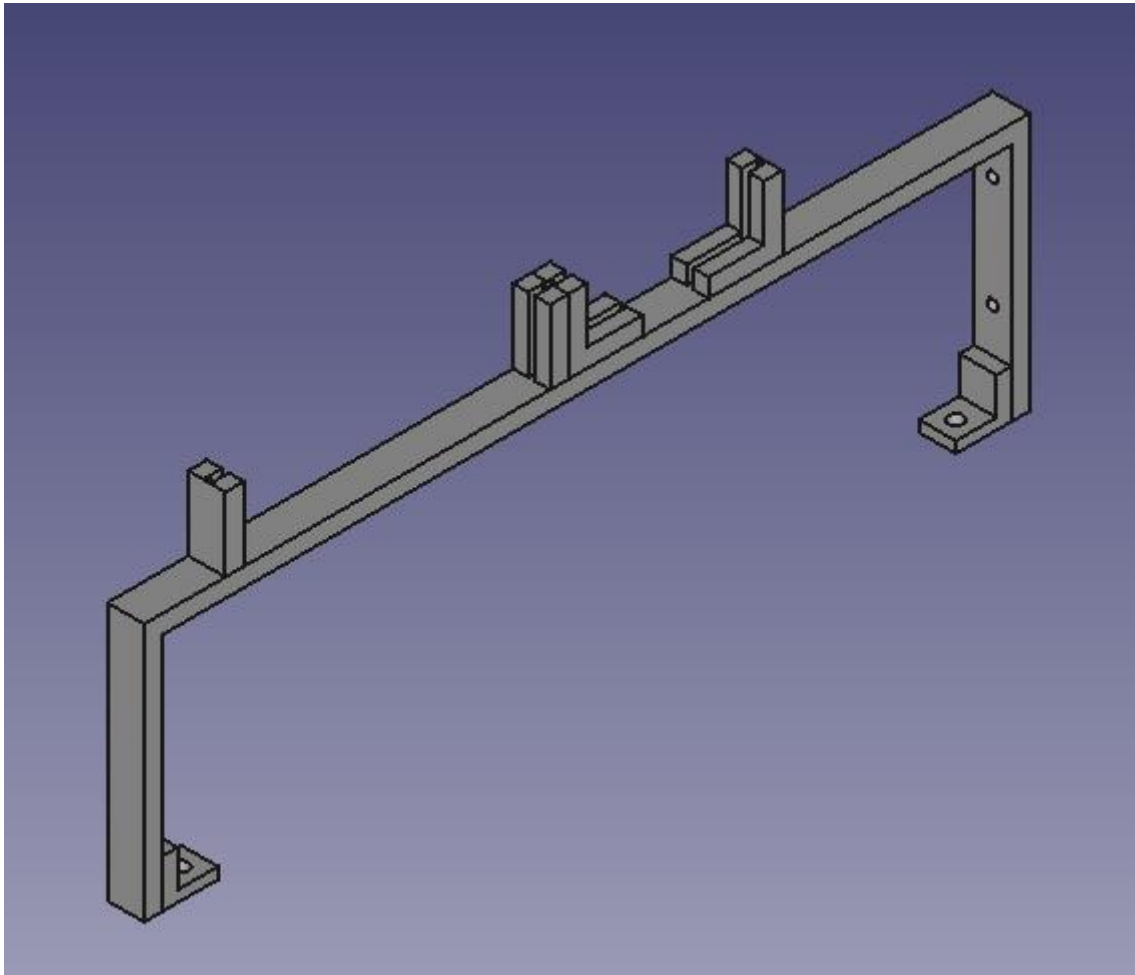


Figura 55.- Soporte del Reader.

Como se ha podido apreciar en capítulos anteriores, se ha decidido que esta pieza quede acoplada a la cama de impresión de la impresora. El motivo por el que se ha decidido esto han sido 2. Las grandes dimensiones del Reader y la necesidad de desplazar el Reader como mínimo en una dirección, ya que el desplazamiento del Reader es uno de los objetivos que se ha pretendido alcanzar al elaborar este Trabajo Fin de Máster.

En la figura 56, se ve la posición a la que se ha imprimido la pieza. Elegir una buena posición de impresión es muy importante, ya que imprimir una pieza en una mala posición (imprimirla de pie), puede provocar un aumento bastante alto en el tiempo de impresión.

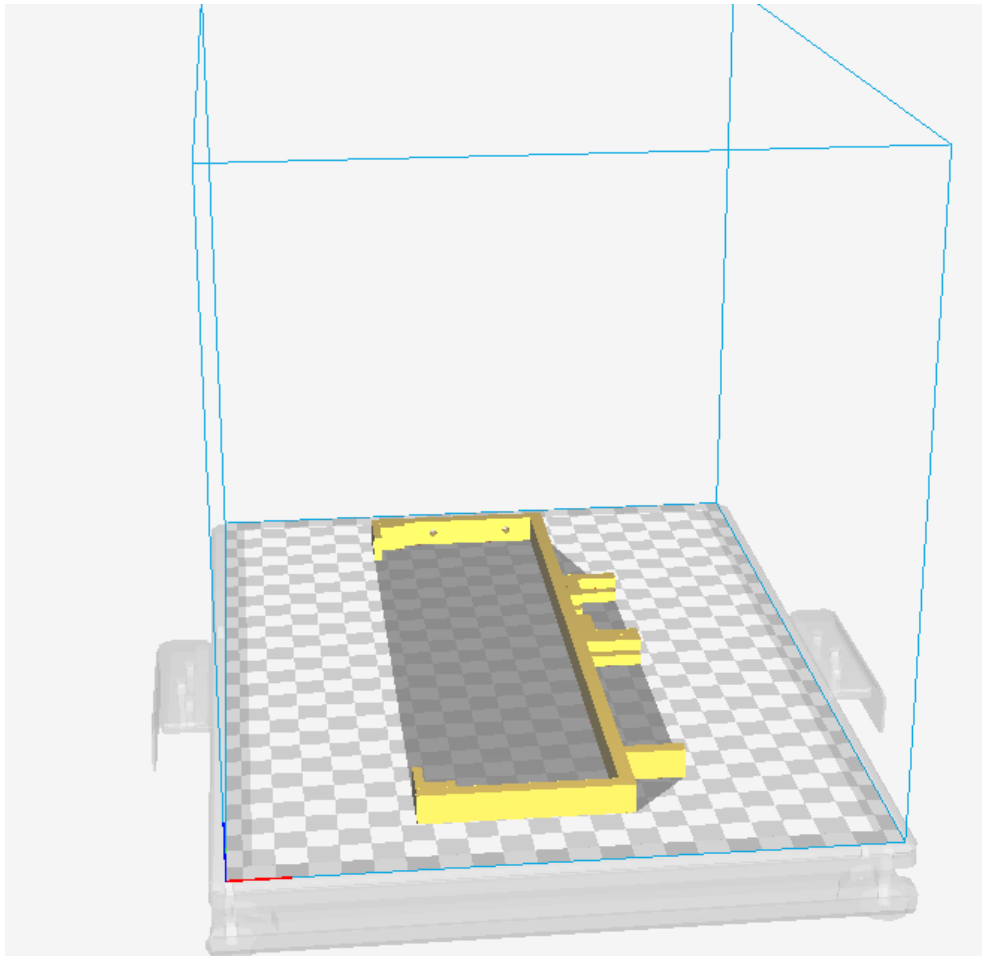


Figura 56.- Posición de impresión del soporte del Reader.

En la tabla 3 se muestra el tiempo que ha tardado en imprimirse la pieza en una buena posición. Como se puede apreciar, el tiempo que tarda en imprimirse es bastante alto por lo que elegir una buena posición resulta bastante beneficioso a la hora de realizar esta labor.

Tabla 3.- Tiempo de impresión del soporte del Reader.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
1 hora y 39 minutos	1 hora y 50 minutos

En la tabla 4 queda recogido ciertos datos que estima Cura sobre la impresión de esta pieza.

Tabla 4.- Datos de soporte del Reader proporcionados por Cura.

Dimensiones de la Pieza (mm)	Longitud de Material empleado (m)	Peso de la pieza (g)	Número de capas
90 x 240 x 10	4,17	12	50

4.2.2 Acoplador Reader

El acoplador del Reader es una pieza que se utiliza con la intención de poder acoplar dos piezas que forman parte del sistema de posicionamiento. Las dos piezas de las que se están hablando es la cadena portacable 2 y el soporte del Reader.

La idea de crear esta pieza nació de la necesidad de resolver un problema que se presentó al probar la cadena portacable 2. En un inicio se pensó en dejar la cadena portacables 2 colgando en el aire, pensando que la rigidez de los cables que iba a contener sería suficiente para estabilizarla. Sin embargo, esto no fue así ya que el movimiento de la cama de impresión provocaba que esta cadena se moviese en la dirección de los X e Y (sistema de coordenadas de la impresora, figura 47 y 48). El movimiento en la dirección del eje Y no era el problema, es más es el objetivo que se pretendía conseguir. El problema surgía cuando se movía en la dirección del eje X, ya que este movimiento provocaba el desacople del conjunto de piezas que forman la cadena.

El acoplador del Reader proporciona a la cadena portacable 2 una mayor rigidez, lo que hace que en este caso se mueva única y exclusivamente en la dirección del eje Y. Alcanzar este objetivo, ha generado en la cadena portacable 2 una gran estabilidad al igual que una gran capacidad de extracción y contracción.

Resumiendo, el objetivo del acoplador del Reader es permitir el acoplamiento de la cadena portacable 2 y el soporte del Reader, con la intención de evitar que la cadena portacable 2 quede suspendida en el aire y provoque los problemas que se ha comentado anteriormente.

En la figura 57, se puede ver esta pieza. Analizando esta imagen se puede apreciar que posee dos pares de agujeros. Como se ha comentado anteriormente los agujeros de la pata vertical de esta pieza se usarán para acoplar esta pieza con el soporte del Reader. En cuanto a los agujeros de la columna horizontal, estos se usarán para acoplar esta pieza con el extremo final de la cadena portacable 2. En estas conexiones, se emplean tornillos de 3 mm de diámetro.

Anteriormente se comentó que esta pieza se creó para resolver ciertos problemas que surgían en la cadena portacables 2, pero no se comentó el motivo por el que se diseñó de la forma que se ve en la figura 57. En un inicio se pensó en que esta pieza fuese una con el soporte del Reader, es decir, que el soporte del Reader y el acoplador del Reader fuese una única pieza. La ventaja que presentaría si se hubiese echo de esta forma es que no hubiese sido necesario los pares de agujeros de la pata vertical y que se reduciría el número de piezas que se manipulan. Este diseño hubiese sido el mejor de todos, sin embargo, no fue posible ejecutarlo, ya que este diseño provoca que parte de la pieza quede por fuera de la cama de impresión.

Resumiendo, se ha optado por el diseño actual debido a las dimensiones de la cama de impresión de la impresora.

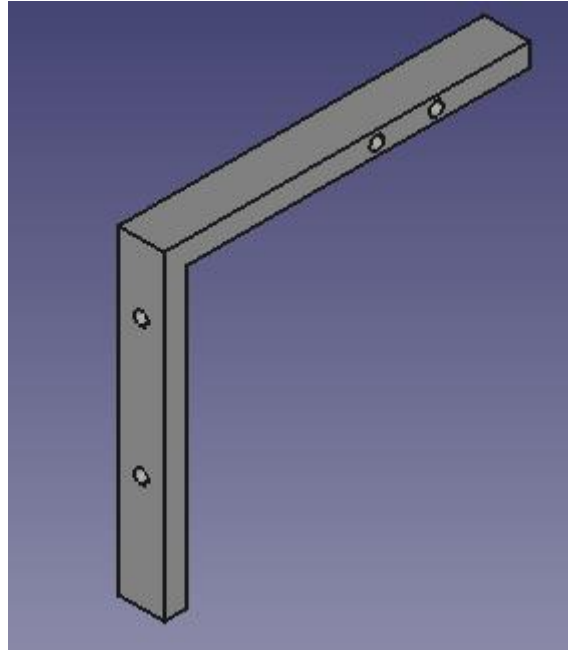


Figura 57.- Acoplador Reader.

En la figura 58, se ve una imagen con la mejor posición de impresión para imprimir esta pieza.

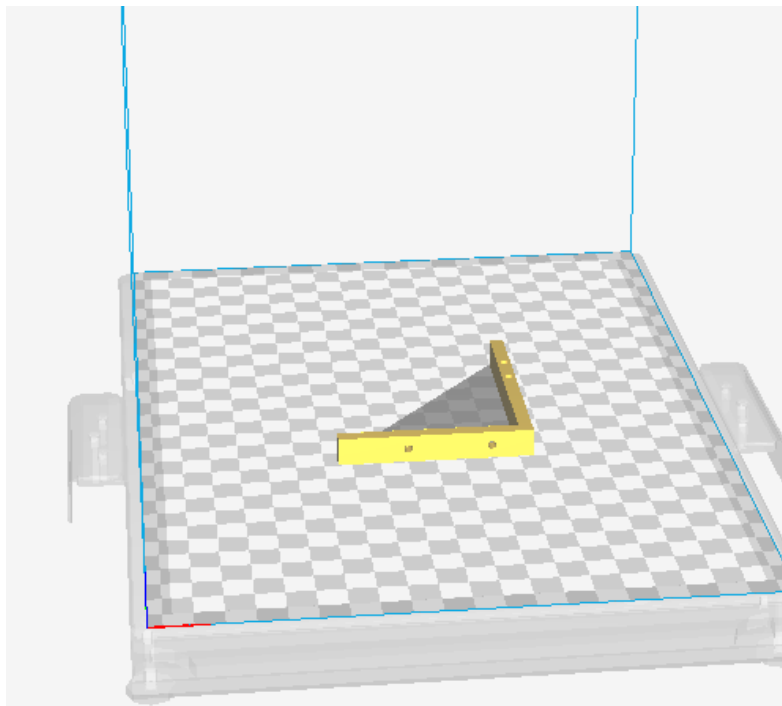


Figura 58.- Posición de impresión del acoplador Reader.

En la tabla 5 se muestra el tiempo que ha tardado en imprimirse la pieza en una buena posición y en la tabla 6 los datos que estima Cura sobre la impresión de esta pieza.

Tabla 5.- Tiempo de impresión del acoplador Reader.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
29 minutos	30 minutos

Tabla 6.- Datos de acoplador Reader.

Dimensiones de la Pieza (mm)	Longitud de Material empleado (m)	Peso de la pieza (g)	Número de capas
70 x 80 x 10	1,18	3	50

4.2.3 Separador Reader

El separador Reader, es una pieza que se ha diseñado de tal forma que sea capaz de cumplir dos objetivos. El primero es que sirva como elemento de conexión entre el soporte del Reader y la cama de impresión de la impresora. El segundo es mantener cierta distancia entre la cama de impresión y el soporte del Reader.

La idea de crear el separador del Reader surgió de la necesidad de resolver un problema muy grave que se producía al poner en marcha el sistema de posicionamiento. El problema que se presentó y que era preciso solucionar es un problema relacionado con el firmware de la impresora.

El problema surge cuando se pone el sistema de posicionamiento en las coordenadas 0, 0, 0 (coordenadas de origen). Para establecer estas coordenadas el firmware hace pasar el extrusor de la impresora por los extremos de la cama de impresión lo que provocaba que el extrusor y el soporte del Reader chocasen entre sí, provocando la rotura del soporte del Reader. Como ya se ha dicho anteriormente la solución a este problema consiste en dejar cierta distancia entre el soporte del Reader y la cama de impresión, solución que ofrece el separador.

Otra posible solución hubiese sido modificar el firmware de la impresora para que realice un recorrido que no perjudique la estructura del sistema de posicionamiento. Sin embargo, esta solución se descartó completamente ya que esto llevaría muchísimo más tiempo que la que se ha presentado en este Trabajo Fin de Máster.

En la figura 59 se puede ver una imagen del diseño del separador del Reader. Esta pieza ira acoplada tanto a la impresora 3D como al soporte del Reader mediante atornillamiento. Como se puede apreciar la pieza posee cuatro agujeros. El agujero del extremo derecho es el que se usara para acoplar la pieza a la impresora 3D y se atornillaran a los agujeros que se encuentra debajo de la cama de impresión de la impresora.

El agujero de mayor diámetro se usa para poder alojar un muelle que se encuentra bajo la cama de la impresora. Los dos últimos agujeros se van a utilizar para acoplar esta pieza con el soporte del Reader. Se han puesto dos agujeros con el fin de poder regular la distancia a la que se va a separar el soporte del Reader.

Estos acoplamientos se realizarán empleando tornillos de aproximadamente 4 mm de diámetro.

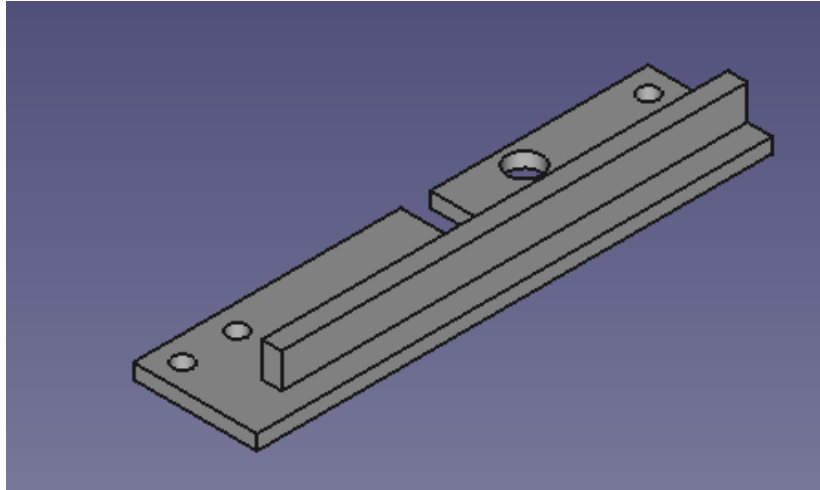


Figura 59.- Separador Reader.

Al ver la figura 59, se puede apreciar que la pieza posee una barra que está situada justo encima de la pieza. La finalidad de haber puesto esta barra es la de solucionar otro problema que surgió al probar el sistema de posicionamiento. Inicialmente el diseño de la pieza era el que se muestra en la figura 60.

Al colocar el separador del Reader, hacemos que el soporte del Reader quede suspendido en el aire. El problema que surgía al utilizar el diseño inicial eran las vibraciones que se producía al moverse la cama de impresión. Estas vibraciones se producían debido a que todo el peso del soporte del Reader caía en el extremo derecho de la pieza (parte que colgaba en el aire).

La función de la barra del nuevo diseño es servir de contrapeso, evitando que el peso caiga únicamente en el extremo derecho de la pieza. El objetivo que se ha alcanzado con este diseño es evitar se produzcan vibraciones al moverse la cama de impresión, mejorando así la estabilidad de la pieza y del sistema en sí.

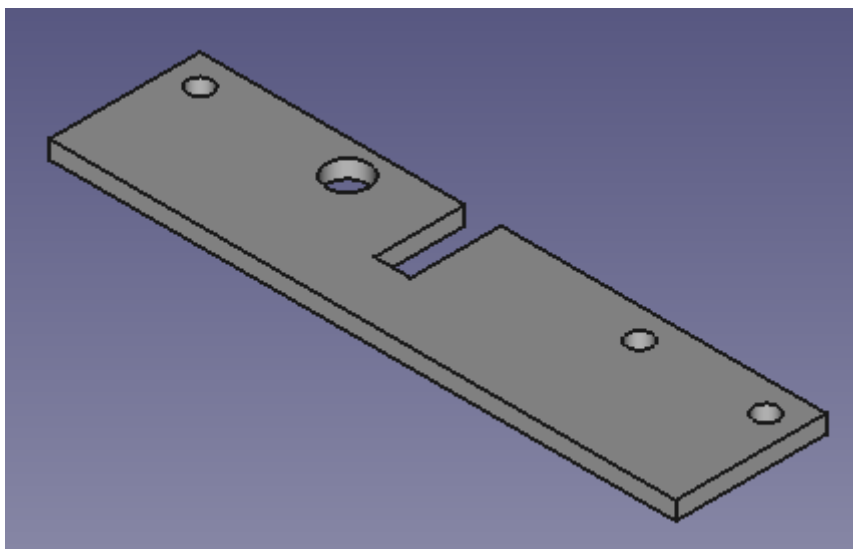


Figura 60.- Diseño inicial del separador Reader.

En la figura 61, se ve una imagen con la mejor posición de impresión para imprimir esta pieza.

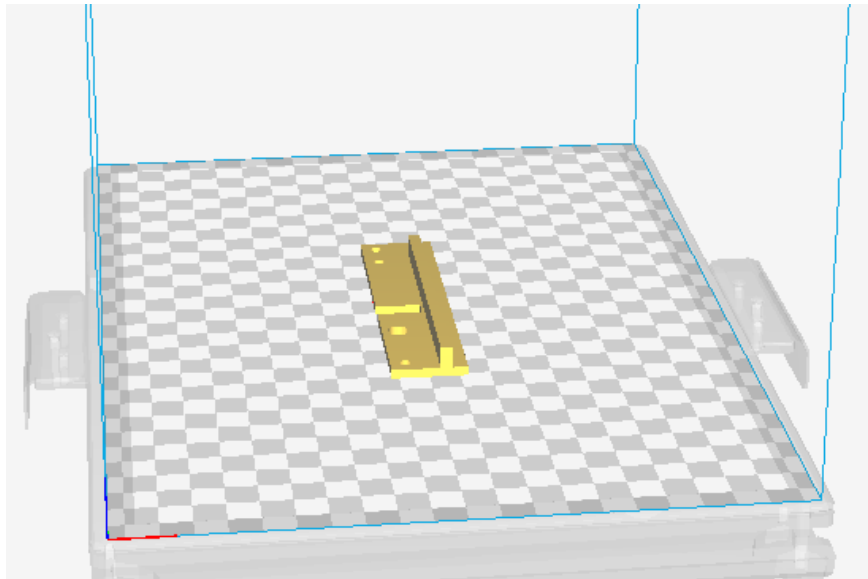


Figura 61.- Posición de impresión del separador Reader.

En la tabla 7 se muestra el tiempo que ha tardado en imprimirse la pieza en una buena posición y en la tabla 8 los datos que estima Cura sobre la impresión de esta pieza.

Tabla 7.- Tiempo de impresión del separador Reader.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
47 minutos	55 minutos

Tabla 8.- Datos de separador Reader.

Dimensiones de la Pieza (mm)	Longitud de Material empleado (m)	Peso de la pieza (g)	Número de capas
25 x 104 x 10	2,15	6	50

4.2.4 Extremo inicial de cadena portacable 2

La figura 62 muestra una imagen del extremo inicial de la cadena portacable 2. Esta pieza se diseñó con el objetivo de poder acoplar la cadena portacable 2 a la impresora 3D. Como se puede ver en la figura, esta pieza posee un par de agujeros que son los que van a permitir la conexión de la pieza a la impresora. Esta conexión se lleva a cabo con tornillos de aproximadamente 3 mm de diámetro.

Otra característica de esta pieza es la cabeza que posee. El objetivo de esta cabeza es la de conectar la pieza a la cadena portacable 2. Esta conexión se realiza mediante el acoplamiento de ambas piezas, de la misma forma que encajan dos piezas de un puzle.

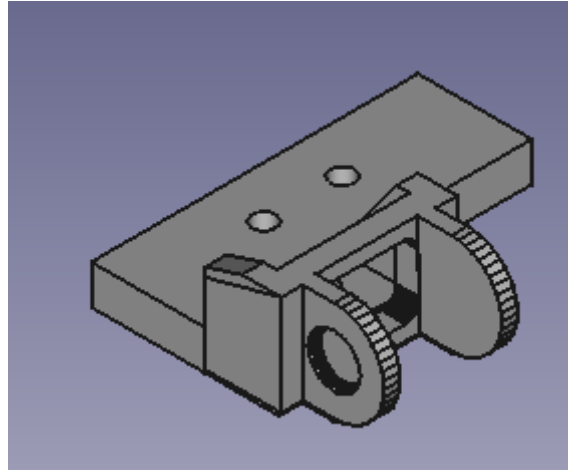


Figura 62.- Extremo inicial de cadena portacable 2.

En la figura 63, se ve una imagen con la mejor posición de impresión para imprimir esta pieza.

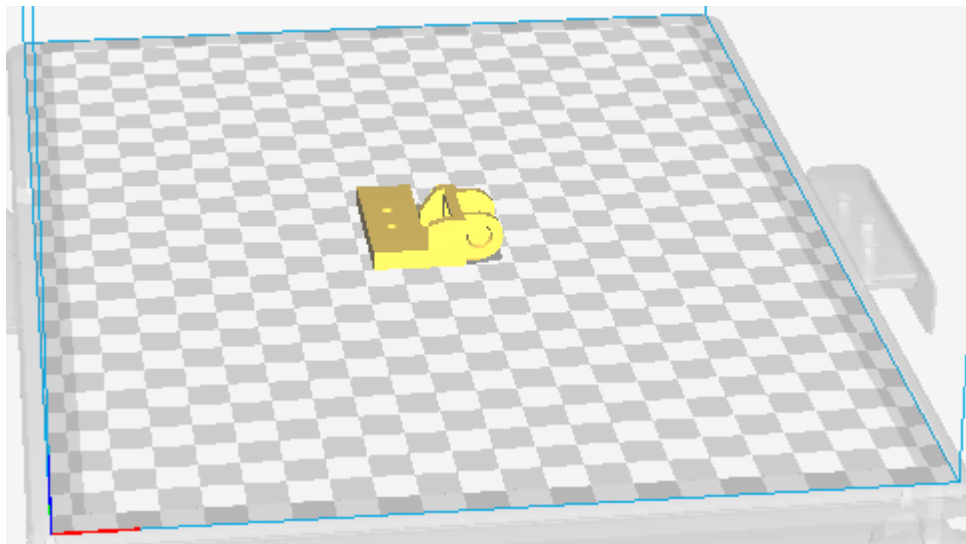


Figura 63.- Posición de impresión extremo inicial de cadena portacable 2.

En la tabla 9 se muestra el tiempo que ha tardado en imprimirse la pieza en una buena posición y en la tabla 10 los datos que estima Cura sobre la impresión de esta pieza.

Tabla 9.- Tiempo de impresión del extremo inicial de cadena portacable 2.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
25 minutos	29 minutos

Tabla 10.- Datos de extremo inicial de cadena portacable 2.

Dimensiones de la Pieza (mm)	Longitud de Material empleado (m)	Peso de la pieza (g)	Número de capas
34,6 x 41,7 x 13,3	1,01	2	66

4.2.5 Extremo final de cadena portacable 2

La figura 64, muestra una imagen del extremo final de la cadena portacable 2. Esta pieza va a cumplir dos funciones. Primero evitar que la cadena portacable 2 quede colgada en el aire y segundo permitir el acoplamiento de la cadena portacable 2 al acoplador del Reader.

Si analizamos la pieza podemos ver que posee dos elementos de acoplamiento. El primero es el par de agujeros que posee y que se van a usar para acoplar esta pieza al acoplador del Reader, empleando para ello tornillos de aproximadamente 3 mm de diámetro. El segundo elemento es la cabeza que se va a emplear para unir esta pieza con la cadena portacable 2.

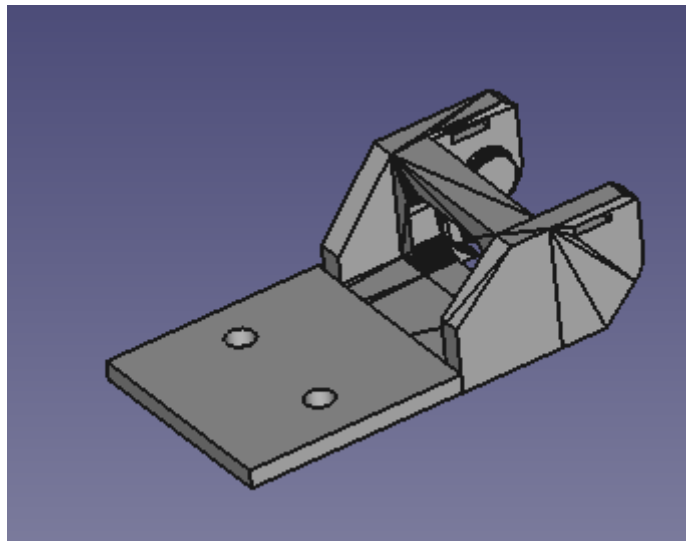


Figura 64.- Extremo final de cadena portacable 2.

En la figura 65, se ve una imagen con la mejor posición de impresión para imprimir esta pieza.

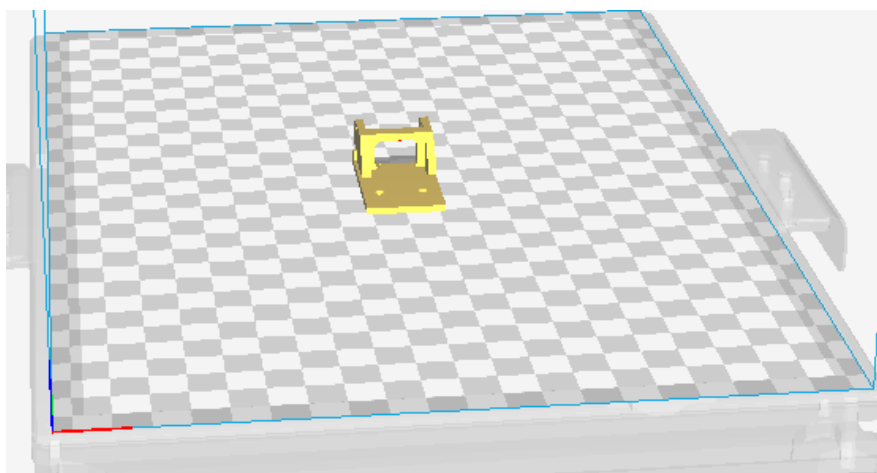


Figura 65.- Posición de impresión extremo final de cadena portacable 2.

En la tabla 11 se muestra el tiempo que ha tardado en imprimirse la pieza en una buena posición y en la tabla 12 los datos que estima Cura sobre la impresión de esta pieza.

Tabla 11.- Tiempo de impresión del extremo final de cadena portacable 2.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
21 minutos	25 minutos

Tabla 12.- Datos de extremo final de cadena portacable 2.

Dimensiones de la Pieza (mm)	Longitud de Material empleado (m)	Peso de la pieza (g)	Número de capas
23,5 x 44,2 x 13,3	0,89	2	66

4.2.6 Cadena portacable 2

La figura 66 muestra dos imágenes de la cadena portacable 2. La imagen de la izquierda es una de las muchas piezas que deben acoplarse entre sí para poder formar la cadena portacable 2. El diseño de esta pieza ha sido descargado de internet [6]. En la imagen de la derecha se puede ver la cadena montada, estando está formado por un acoplamiento de 33 piezas.

La misión que va a desempeñar esta cadena es la de contener los cables de alimentación y medida del Reader, evitando que estos interfieran en el movimiento del sistema de posicionamiento.

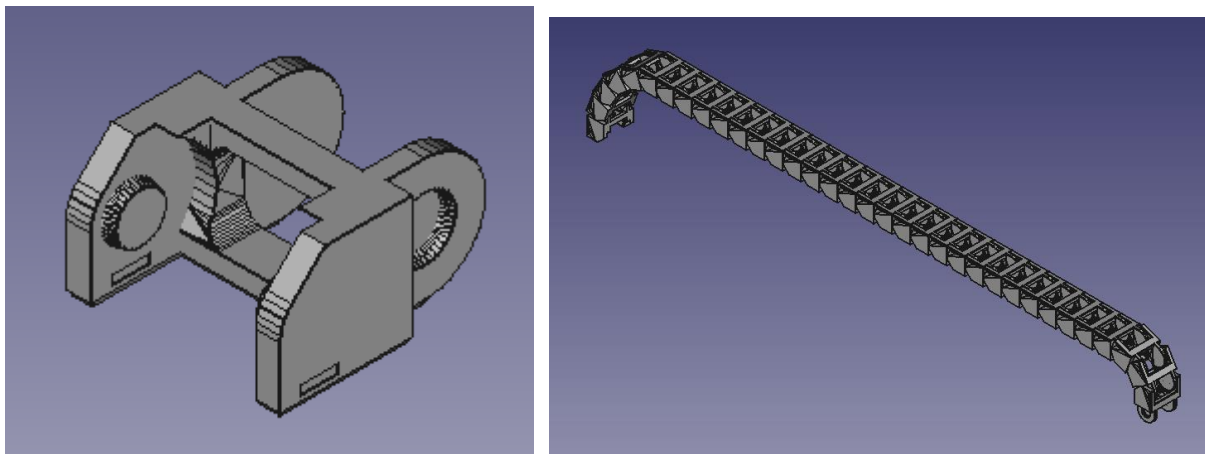


Figura 66.- Cadena portacable 2.

En la figura 67, se ve una imagen con la mejor posición de impresión para imprimir estas piezas.

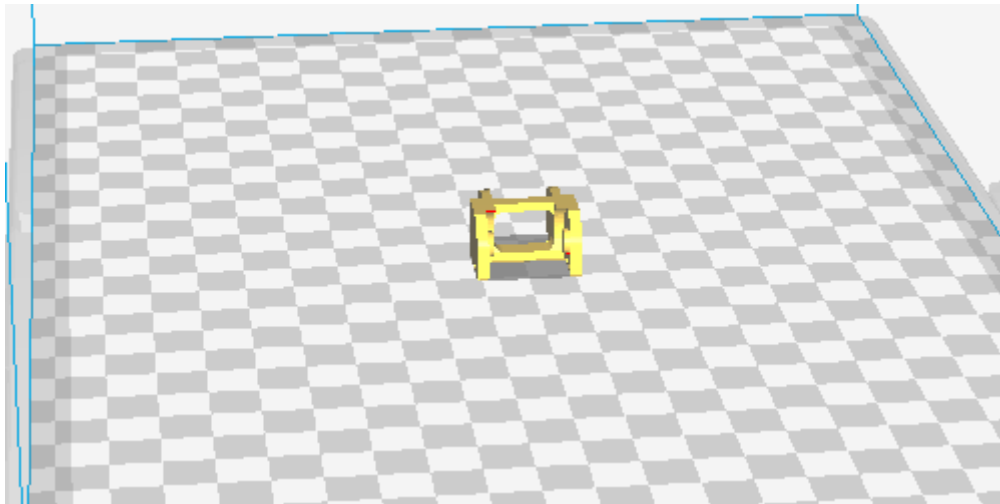


Figura 67.- Posición de impresión de una de las piezas que forma el conjunto de la cadena portacable 2.

En la tabla 13 se muestra el tiempo que ha tardado en imprimirse la pieza en una buena posición y en la tabla 14 los datos que estima Cura sobre la impresión de esta pieza.

Tabla 13.- Tiempo de impresión de la pieza de cadena portacable 2.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
15 minutos	22 minutos

Tabla 14.- Datos de la pieza de cadena portacable 2.

Dimensiones de la Pieza (mm)	Longitud de Material empleado (m)	Peso de la pieza (g)	Número de capas
22,4 x 24,3 x 13,3	0,53	1	66

4.2.7 Acoplador Tag

La función que cumple el acoplador del Tag es la de permitir el acoplamiento de la pieza bautizada como soporte de Tag a la impresora 3D.

En la figura 68 se puede ver una imagen del soporte del Tag. Si nos fijamos en esta imagen, se puede apreciar que esta pieza posee dos agujeros. Cada uno de estos agujeros cumple su propia función. El agujero que se encuentra en el lado izquierdo de la imagen tiene como objetivo permitir acoplar esta pieza a la impresora 3D. El agujero del lado derecho de la imagen es el que se utiliza para acoplar el acoplador del Tag, con el soporte de Tag.

Las conexiones de ambos agujeros se llevan a cabo con tornillos de aproximadamente 3 mm de diámetro.

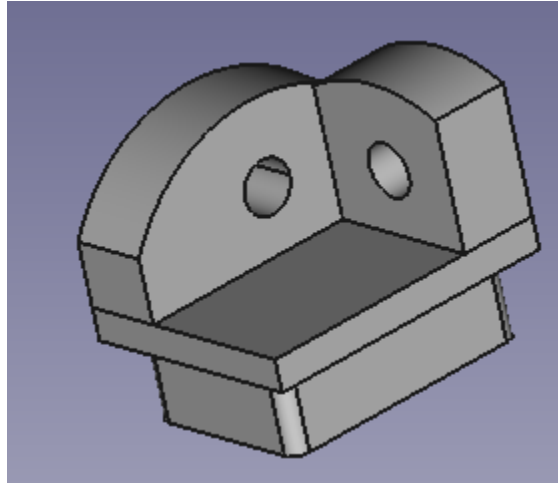


Figura 68.- Acoplador Tag.

Este diseño tan peculiar de esta pieza no se ha decidió por puro capricho sino para poder resolver un problema que surgía al poner en marcha el sistema de posicionamiento. En un principio el diseño de esta pieza fue el que se muestra en la figura 69. Este diseño inicial cumplía la misma función que el nuevo diseño, es decir, permitía acoplar el soporte del Tag a la impresora 3D.

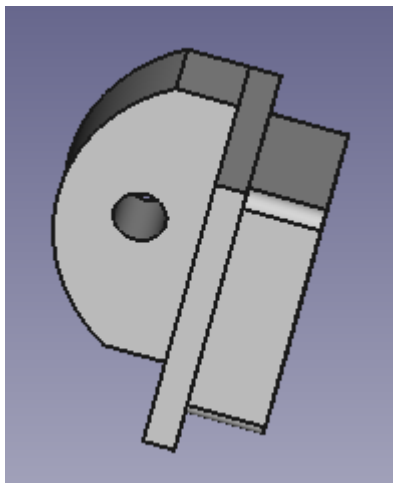


Figura 69.- Diseño inicial de acoplador Tag.

El problema que se generaba al utilizar el diseño inicial radicaba en las posiciones en las que esta pieza permitía colocar el soporte del Tag. Empleando el diseño inicial podíamos colocar las patas del soporte del Tag (que se verá más adelante) paralelas al eje X o al eje Z (ver figura 47, 48). Cuando adoptaba la posición del eje X, las patas del soporte del Tag chocaba con la cadena portacable 2 y cuando adoptaba la posición del eje Z chocaba con la cama de impresión.

La solución que proporciona el nuevo diseño es la de poder posicionar las patas del soporte del Tag paralelas al eje Y, evitando así que se produzcan choques entre las piezas.

En la figura 70, se ve una imagen con la mejor posición de impresión para imprimir esta pieza.

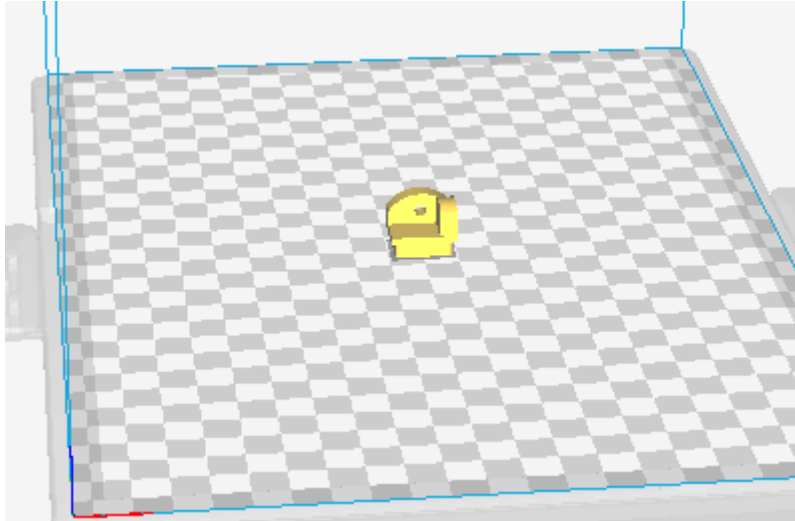


Figura 70.- Posición de impresión del acoplador Tag.

En la tabla 15 se muestra el tiempo que ha tardado en imprimirse la pieza en una buena posición y en la tabla 16 los datos que estima Cura sobre la impresión de esta pieza.

Tabla 15.- Tiempo de impresión del acoplador Tag.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
14 minutos	19 minutos

Tabla 16.- Datos de extremo inicial de cadena portacable 2.

Dimensiones de la Pieza (mm)	Longitud de Material empleado (m)	Peso de la pieza (g)	Número de capas
19 x 15 x 16,2	0,57	1	81

4.2.8 Soporte de Tag

Como se ha comentado anteriormente, se ha diseñado una pieza que se emplea para sujetar el Tag del sistema PalFi (véase figura 71).

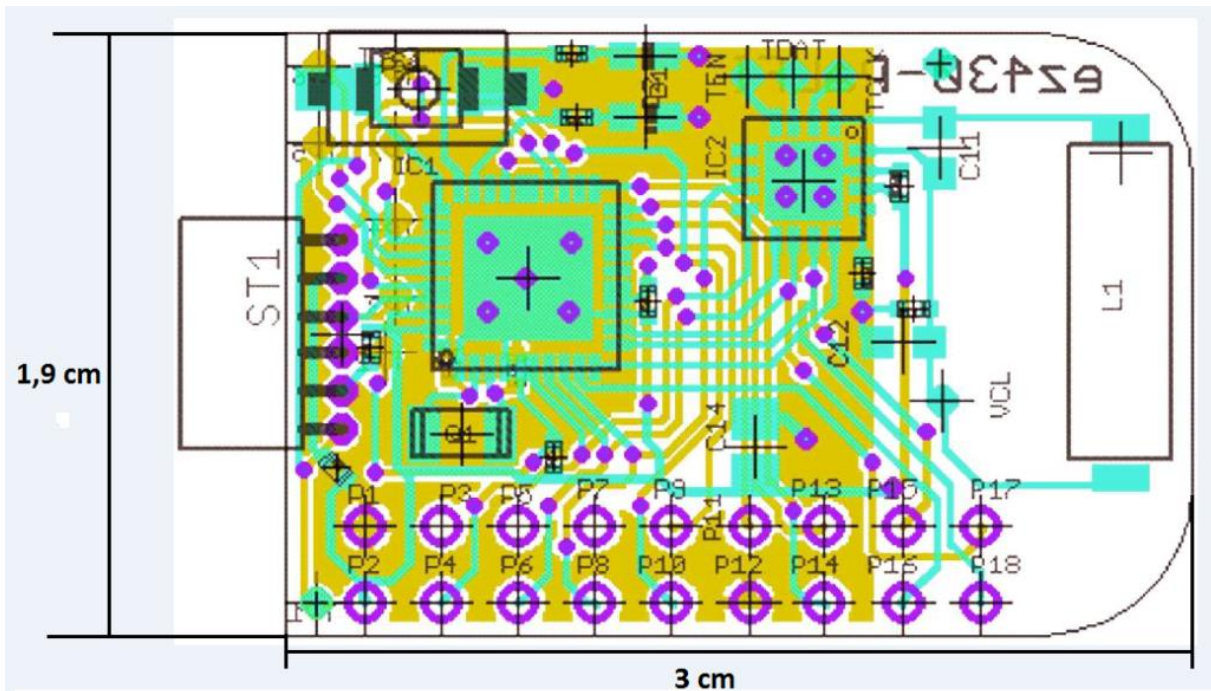


Figura 71.- Dimensiones del Tag del sistema PalFi.

El soporte del Tag es la pieza que va a contener el Tag del sistema PalFi. En la figura 72, se puede ver una imagen de esta pieza. Como podemos apreciar esta pieza posee un agujero que es el que se emplea para acoplar dicha pieza al acoplador del Tag. Este acoplamiento se va a realizar empleando tornillos de aproximadamente 3 mm de diámetro.

Al igual que muchas de las piezas vistas con anterioridad, el diseño de esta se ha realizado para que cumpla con una serie de objetivos, dos para ser exactos. El primero de ellos es la de contener el Tag del sistema PalFi y el segundo es el de evitar que el campo magnético que genera la bobina del Tag se vea afectado por los tornillos de acoplamiento de esta pieza.

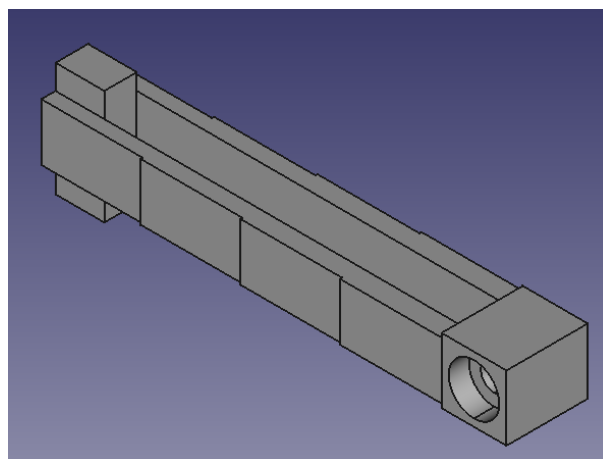


Figura 72.- Soporte de Tag.

Para cumplir con ambos objetivos se ha diseñado el cajón que se muestra en la figura 72 y 73 (lugar donde se sitúa la bobina del Tag) y las patas que se ven en la figura 72.

La función que realiza las patas son dos. La primera es la de mantener lejos el cajón hueco de cualquier elemento que pueda interferir en el campo magnético de la bobina (tornillos que se emplean para acoplar el soporte de Tag a la pieza bautizada como acoplador Tag). La segunda es la de contener el Tag del sistema PalFi, de tal forma que este quede totalmente inmovilizado. Es por ello por lo que se ha puesto una distancia de separación de 1 mm entre una de las patas y el cajón hueco.

En cuanto al cajón hueco, su función es contener la bobina del Tag. Se ha colocado este cajón en los extremos de las patas con el fin de alejar la bobina del Tag de los tornillos de acoplamiento. La longitud de separación que deja este cajón de los tornillos es de 50 mm.

Resumiendo, el motivo por el que se ha realizado este diseño es el de mantener alejado la bobina del Tag de los tornillos de acoplamiento de la pieza. Cumplir con este objetivo es muy importante ya que, de no hacerlo el campo magnético de la bobina podría verse influenciado por las características metálicas de los tornillos, generando así resultados poco fiables.

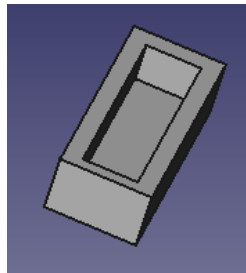


Figura 73.- Detalle del cajón hueco que va a contener la bobina.

En la figura 74, se ve una imagen con la mejor posición de impresión para imprimir esta pieza.

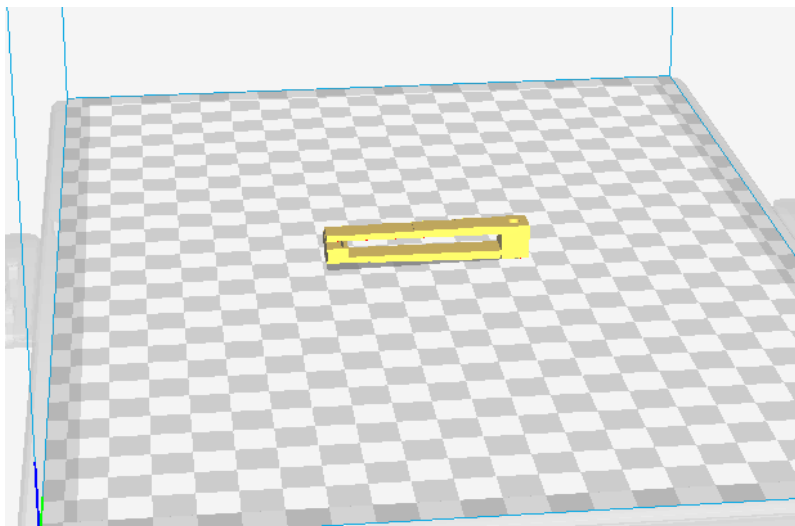


Figura 74.- Posición de impresión del soporte de Tag.

En la tabla 17 se muestra el tiempo que ha tardado en imprimirse la pieza en una buena posición y en la tabla 18 los datos que estima Cura sobre la impresión de esta pieza.

Tabla 17.- Tiempo de impresión del soporte de Tag.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
18 minutos	23 minutos

Tabla 18.- Datos de extremo inicial de cadena portacable 2.

Dimensiones de la Pieza (mm)	Longitud de Material empleado (m)	Peso de la pieza (g)	Número de capas
58 x 14 x 10	0,79	2	50

4.2.9 Cadena portacable 1

En la figura 75 se ven dos imágenes. La imagen de la izquierda es una de las muchas piezas que van a formar parte de la cadena portacable 1 (pieza descargado de internet) [6] y la imagen derecha es el montaje de la cadena portacable 1.

Esta cadena portacable es exactamente igual a la cadena portacable que trae la impresora Hephestos 2 de fábrica.

Como se ha comentado anteriormente vamos a conectar dos cadenas portacable 1 en dos puntos distintos de la impresora 3D. Una de estas cadenas estará acoplada al acoplador 1 de cadena y estará formada por 35 piezas. La otra cadena estará conectada al acoplador 2 y estará formada por 27 piezas.

La misión que va a cumplir esta cadena es la de contener los cables de alimentación del Tag, para que estos no interfieran en la labor del sistema de posicionamiento.

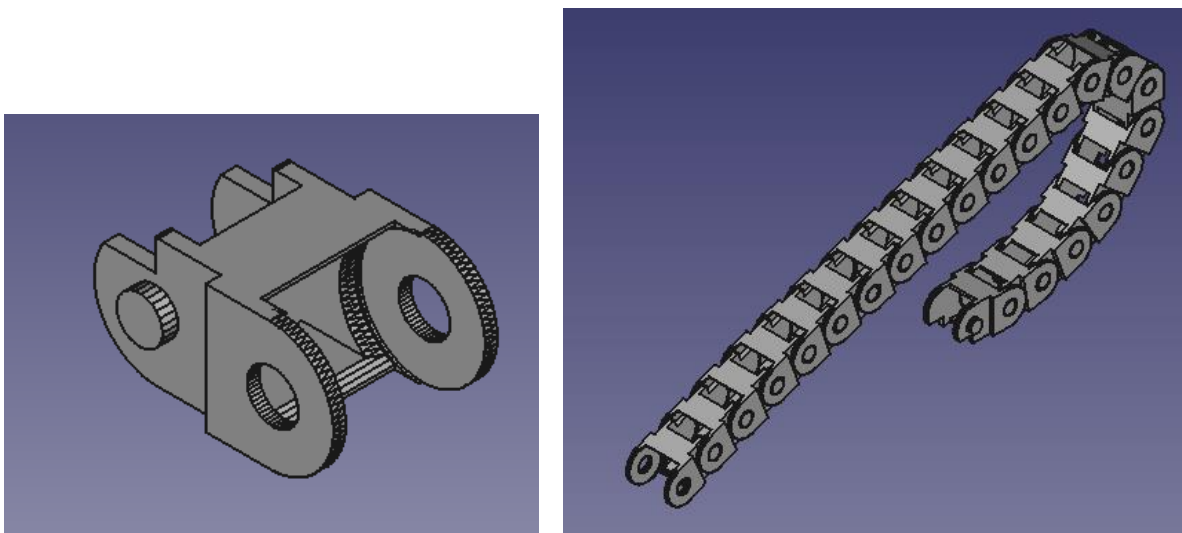


Figura 75.- Cadena portacable 1.

En la figura 76, se ve una imagen con la mejor posición de impresión para imprimir estas piezas.

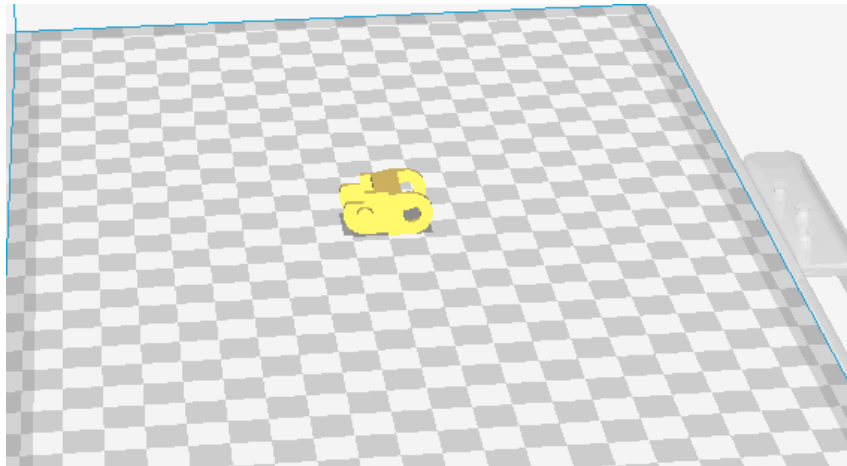


Figura 76.- Posición de impresión de una de las piezas que forma el conjunto de la cadena portacable 1.

En la tabla 19 se muestra el tiempo que ha tardado en imprimirse la pieza en una buena posición y en la tabla 20 los datos que estima Cura sobre la impresión de esta pieza.

Tabla 19.- Tiempo de impresión de la Pieza de cadena portacable 1.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
12 minutos	16 minutos

Tabla 20.- Datos de la pieza de cadena portacable 1.

Dimensiones de la Pieza (mm)	Longitud de Material empleado (m)	Peso de la pieza (g)	Número de capas
24,8 x 16 x 12,5	0,39	1	60

4.2.10 Acoplador 1 de cadena

En la figura 77 se pueden ver dos diseños de acoplador 1 de cadena. Ambos diseños son exactamente iguales la única diferencia reside en la cabeza, ya que estas se han adaptado para conectarlas a los extremos iniciales y finales de la cadena portacable 1. Esta adaptación se puede apreciar en que una de las cabezas posee dos agujeros mientras que la otra no.

El objetivo de estas piezas es permitir el acoplamiento de la cadena portacable 1 a la impresora 3D. Para realizar este acoplamiento se usa el par de agujeros que posee cada una de estas piezas. Esta conexión se lleva a cabo con tornillos de aproximadamente 3 mm de diámetro.

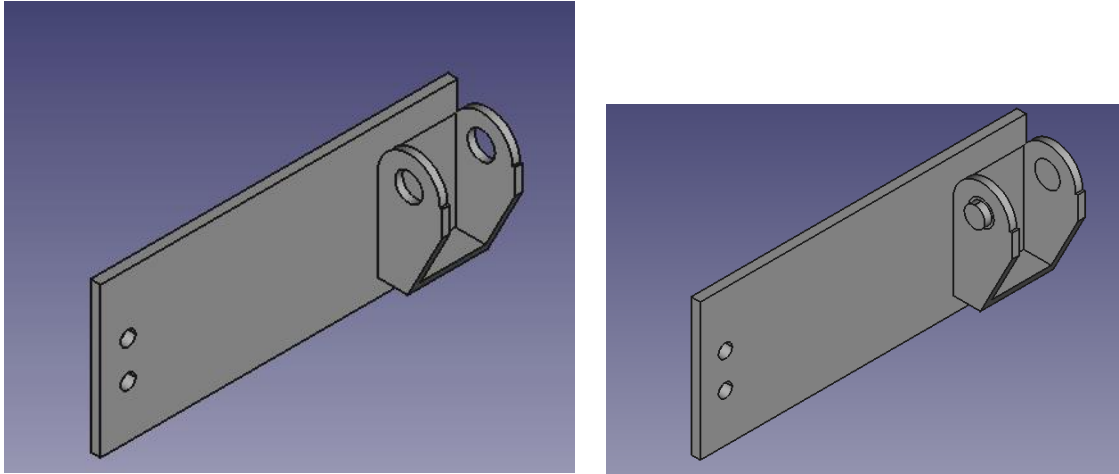


Figura 77.- Acoplador 1 de cadena.

En la figura 78, se ve una imagen con la mejor posición de impresión para imprimir estas piezas.

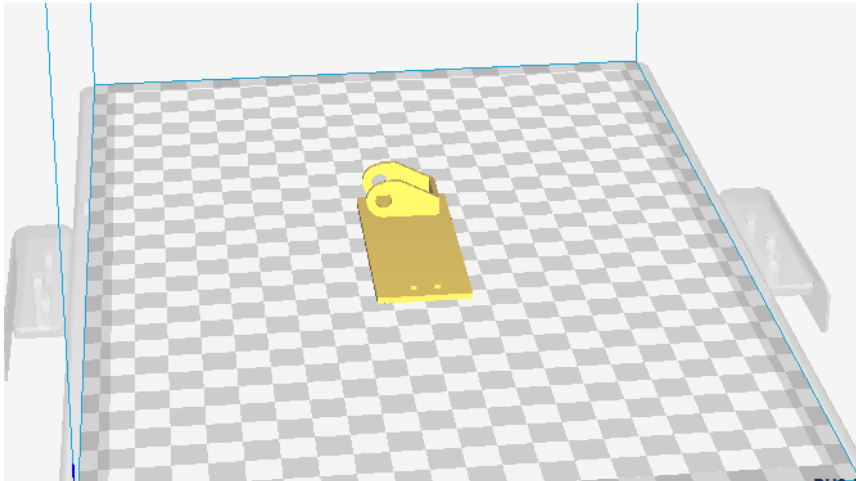


Figura 78.- Posición de impresión del acoplador 1 de cadena.

En la tabla 21 se muestra el tiempo que ha tardado en imprimirse la pieza en una buena posición y en la tabla 22 los datos que estima Cura sobre la impresión de esta pieza. Los datos son prácticamente iguales para ambos casos, por lo que los datos que se recogen en las tablas se han considerado como datos generales.

Tabla 21.- Tiempo de impresión del acoplador 1 de cadena.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
40 minutos	52 minutos

Tabla 22.- Datos del acoplador 1 de cadena.

Dimensiones de la Pieza (mm)	Longitud de Material empleado (m)	Peso de la pieza (g)	Número de capas
30 x 71,5 x 14,9	1,68	5	75

4.2.11 Acoplador 2 de cadena

Al igual que para el acoplador 1 de cadena, se ha diseñado dos diseños de acoplador 2 de cadena que se pueden ver en la figura 79. Ambos diseños son exactamente iguales la única diferencia reside en la cabeza, ya que estas se han adaptado para conectarlas a los extremos iniciales y finales de la cadena portacable 1. Esta adaptación se puede apreciar en que una de las cabezas posee dos agujeros mientras que la otra no.

El objetivo de estas piezas es permitir el acoplamiento de la cadena portacable 1 a la impresora 3D. Para realizar este acoplamiento se usa el par de agujeros que posee cada una de estas piezas. Esta conexión se lleva a cabo con tornillos de aproximadamente 3 mm de diámetro.

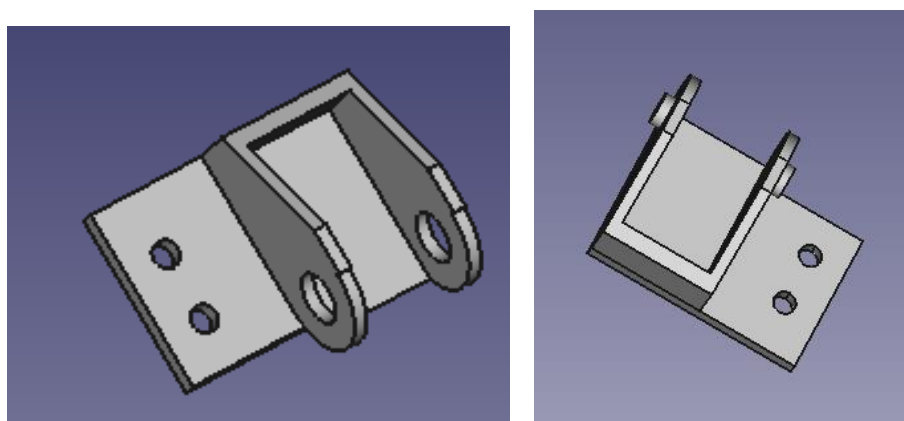


Figura 79.- Acoplador 2 de cadena.

En la figura 80, se ve una imagen con la mejor posición de impresión para imprimir estas piezas.

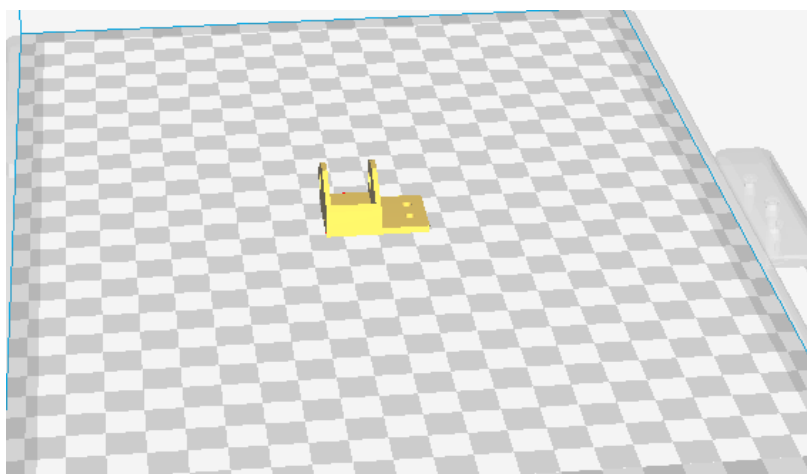


Figura 80.- Posición de impresión del acoplador 2 de cadena.

En la tabla 23 se muestra el tiempo que ha tardado en imprimirse la pieza en una buena posición y en la tabla 24 los datos que estima Cura sobre la impresión de esta pieza. Los datos son prácticamente iguales para ambos casos, por lo que los datos que se recogen en las tablas se han considerado como datos generales.

Tabla 23.- Tiempo de impresión del acoplador 2 de cadena.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
17 minutos	21 minutos

Tabla 24.- Datos del acoplador 2 de cadena.

Dimensiones de la Pieza (mm)	Longitud de Material empleado (m)	Peso de la pieza (g)	Número de capas
30 x 24,6 x 14,9	0,65	1	75

4.3 Pruebas realizadas

Como se han podido ver en las tablas de los apartados anteriores, algunas de las piezas tardaban mucho tiempo en imprimirse. Es por eso por lo que a la hora de realizar este proyecto se tuvo la necesidad de hacer numerosas pruebas con el único fin de ser más eficiente y disminuir el tiempo de trabajo.

En el diseño de algunas piezas se tuvieron que tomar medidas empleando reglas, cintas métricas e incluso pie de rey. Lo que se pretendía evitar con la realización de estas pruebas, es imprimir una pieza y luego averiguar que las medidas tomadas no eran exactas. Si esto ocurría se tenía que modificar las medidas y volver a imprimir la pieza con la correspondiente pérdida de tiempo que acompañaba dicha impresión.

4.3.1 Pruebas soporte del Reader

En la figura 81, se puede ver la primera prueba que se tuvo que realizar para poder diseñar el soporte del Reader. El objetivo de esta prueba fue averiguar si la longitud de dicha pieza era adecuada como para poder llegar a conectarla (mediante tornillos) con los dos agujeros que se encuentran debajo de la cama de la impresora. Para ahorrar tiempo de impresión, esta pieza se diseñó con 1 mm de espesor.

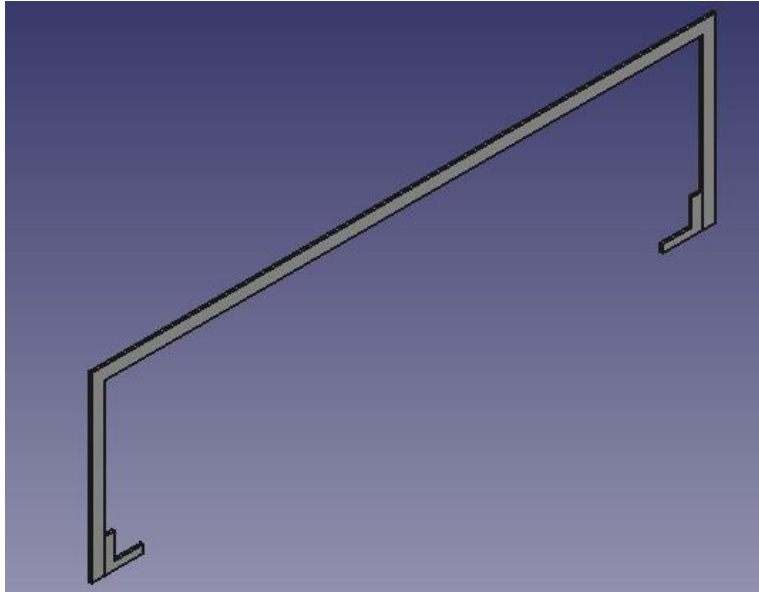


Figura 81.- Prueba 1 del soporte del Reader.

En la tabla 25 se puede apreciar el tiempo que ha llevado la impresión de esta pieza. Si comparamos este tiempo con el tiempo que llevo realizar la pieza entera, podemos apreciar que el objetivo que se quería alcanzar al realizar estas pruebas ha sido conseguido.

Tabla 25.- Tiempo de impresión de la prueba 1 de soporte del Reader.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
18 minutos	22 minutos

En la figura 82, se puede ver la segunda prueba que se tuvo que realizar. El objetivo de esta prueba era averiguar si el diámetro del agujero de la pieza que se ve en la figura 82, coincidía con el diámetro de los agujeros que se encuentran bajo la cama de la impresora.

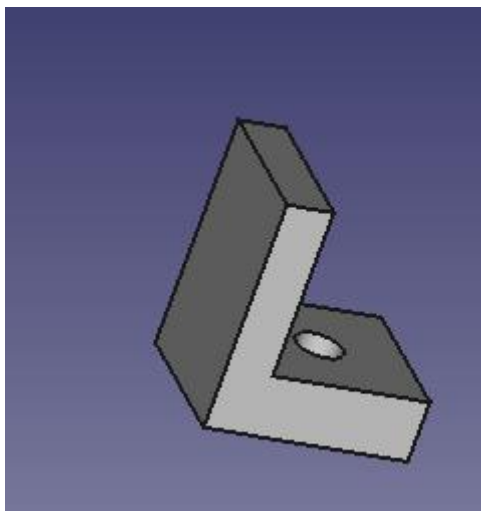


Figura 82.- Prueba 2 del soporte del Reader.

En la tabla 26, queda recogido el tiempo de impresión que llevo realizar esta prueba.

Tabla 26.- Tiempo de impresión de la prueba 2 de soporte del Reader.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
6 minutos	10 minutos

La figura 83, muestra las dos últimas pruebas que se realizaron y cuyo objetivo fue averiguar si el Reader encajaba perfectamente en ellas. Estas dos últimas pruebas se tuvieron que realizar varias veces ya que fue difícil aceptar con la separación que debía tener las dos columnas que se ven en las dos imágenes de la figura 83 y además conseguir que la abertura de estas dos columnas fuera la adecuada para que el Reader encajase perfectamente.

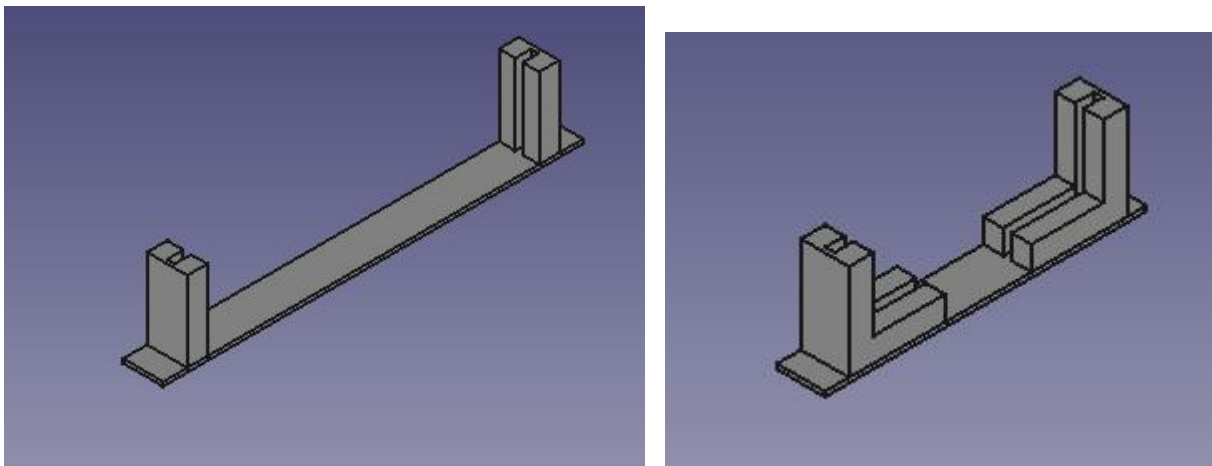


Figura 83.- Prueba 3 y 4 del soporte del Reader.

En la tabla 27 y 28, queda plasmado el tiempo de impresión que llevo realizar estas dos pruebas.

Tabla 27.- Tiempo de impresión de la prueba 3 de soporte de Reader.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
20 minutos	26 minutos

Tabla 28.- Tiempo de impresión de la prueba 4 de soporte de Reader.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
21 minutos	27 minutos

4.3.2 Pruebas de acopladores 1 y 2 de cadena portacable 1

Las pruebas 1 y 2 de los acopladores de cadena portacable, que se pueden ver en figura 84, se realizaron con el objetivo de averiguar si la distancia de separación entre ambos agujeros y sus diámetros coincidían con la de los agujeros que posee la impresora.

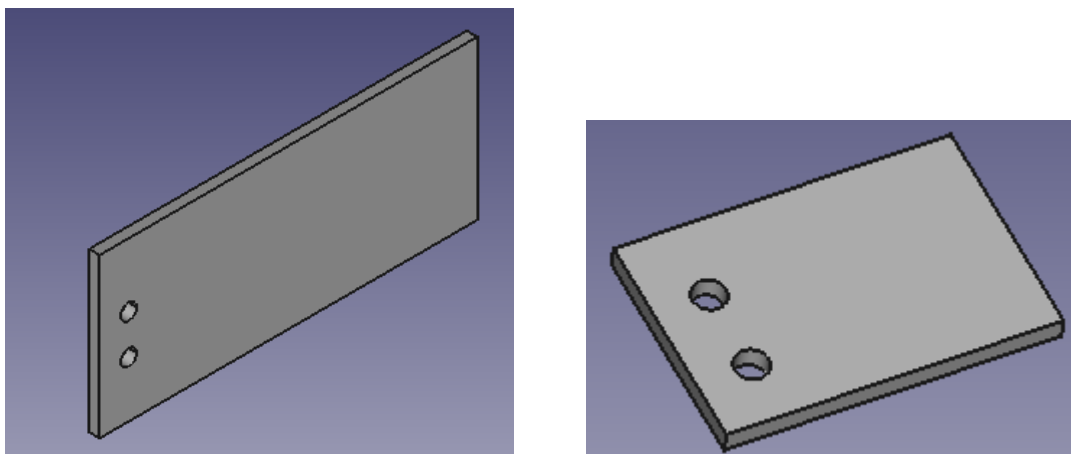


Figura 84.- Prueba 1 y 2 de acopladores 1 y 2 de cadena portacable 1.

En las tablas 29 y 30 se muestra los tiempos de impresión de ambas pruebas.

Tabla 29.- Tiempo de impresión de la prueba de acoplador 1 de cadena.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
31 minutos	38 minutos

Tabla 30.- Tiempo de impresión de la prueba de acoplador 2 de cadena.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
9 minutos	13 minutos

Las pruebas 3 y 4 se realizaron con el fin de buscar las medidas adecuadas para que las piezas que se ven en la figura 85 encajen con las otras piezas que conforman el portacable 1.

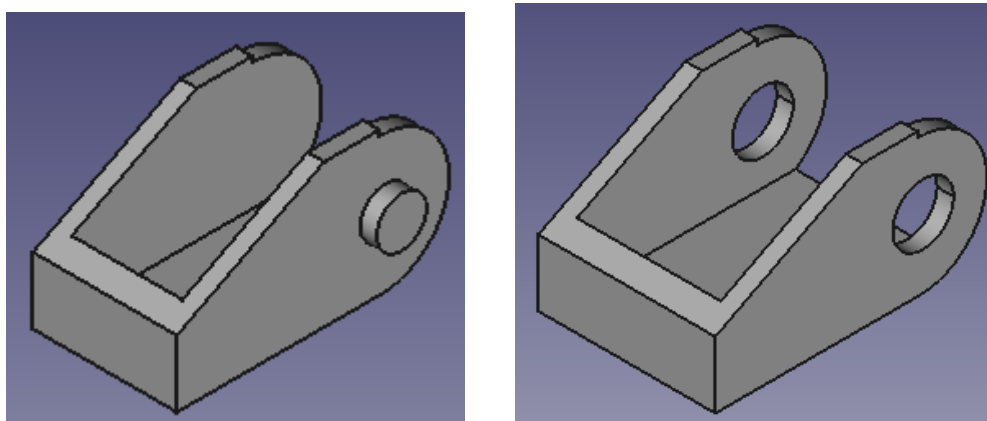


Figura 85.- Prueba 3 y 4 de acopladores 1 y 2 de cadena portacable 1.

El tiempo de impresión en ambos casos es prácticamente el mismo por lo que la tabla 31, contiene un tiempo de impresión general para ambas pruebas.

Tabla 31.- Tiempo de impresión de la prueba 3 de acoplador de cadena.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
10 minutos	15 minutos

4.3.3 Pruebas cadena portacable 2

La prueba del extremo inicial de la cadena portacable 2, se realizó con el objetivo de averiguar si la distancia de separación y el diámetro de los agujeros de esta pieza coincidía con la de los dos agujeros que posee la impresora 3D (véase figura 86 para más detalle).

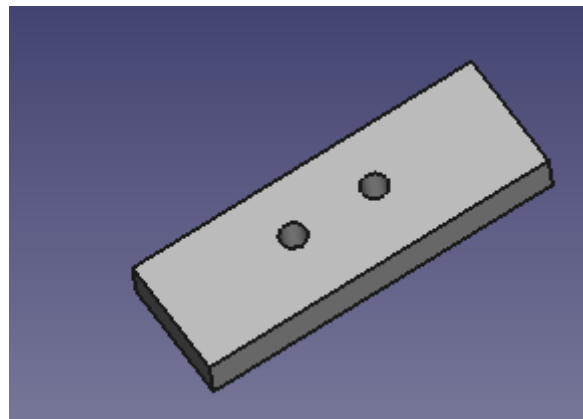


Figura 86.- Prueba del extremo inicial de la cadena portacable 2.

La tabla 32 contiene el tiempo de impresión que llevo realizar esta prueba.

Tabla 32.- Tiempo de impresión de la prueba de la cadena portacable 2.

Tiempo de impresión según Cura	Tiempo de impresión real
12 minutos	18 minutos

4.4 Diseños de piezas descartadas

El tema de diseñar una pieza es algo complejo ya que las piezas no siempre cumplen con el objetivo que se desea alcanzar. A continuación, veremos algunas de las piezas han sido diseñadas para formar parte del sistema de posicionamiento y que por diversas razones ha sido necesario descartarlas.

4.4.1 Diseños soporte para la bobina del Tag del sistema PalFi

En la figura 87 se pueden ver algunos modelos que se diseñaron como soporte de la bobina del Tag. La pieza que se encuentra en la parte superior izquierda se acopla a cualquiera de las otras piezas

que se pueden ver en la figura mediante un tornillo. Por supuesto con este mismo tornillo acoplamos estas piezas a la impresora 3D.

Muchas de las piezas que se ven en la figura poseen dos patas de una longitud determinada. Estas patas se diseñaron para longitudes de 50, 70 y 90 mm y el motivo por el que se diseñaron era para evitar que el campo magnetico de la bobina del Tag se viese influenciado por el tornillo que se usa para unir la pieza a la impresora.

También se puede apreciar que en algunas de las piezas la anchura de las patas difiere. Esto es debido a que se descubrió que a menor anchura las patas se volvían más flexibles (se necesitaba patas flexibles para colocar la bobina en la base rectangular que se puede ver en los extremos de las patas).

Por último, comentar que se diseñaron las piezas con la base rectangular colocada en posición vertical y horizontal, con el fin de averiguar cuál sería la mejor forma de colocar la bobina.

Al final estas piezas se descartaron porque al probar el sistema de posicionamiento, se vio que el extrusor (donde están acopladas estas piezas) se acercaba demasiado a la cama de la impresora, por lo que las patas chocaban con dicha cama corriendo el riesgo de producir daños en la estructura del sistema de posicionamiento.

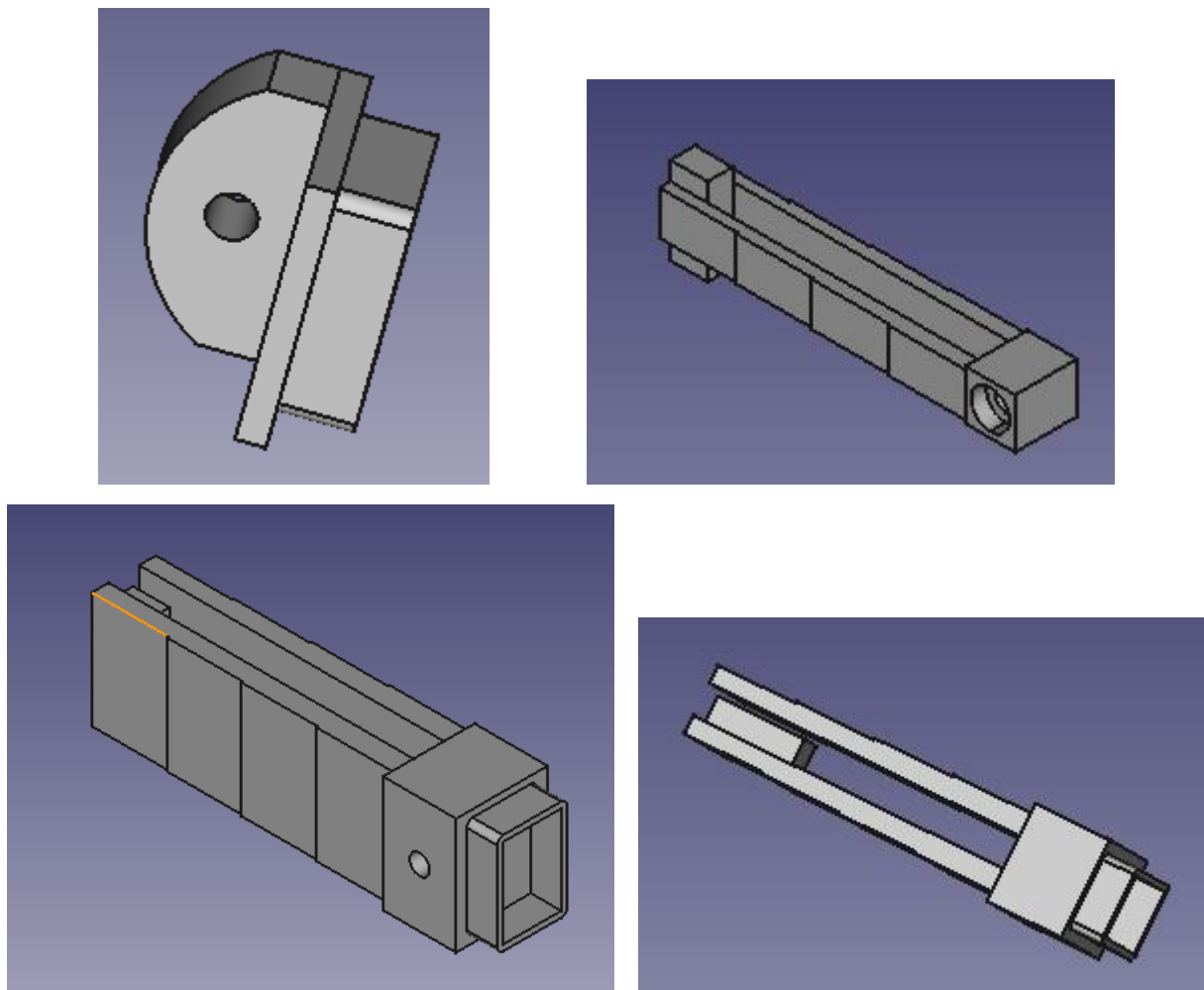


Figura 87.- Conjunto de piezas diseñadas para el soporte de la bobina del Tag.

4.4.2 Diseños cadena portacable 1

La idea inicial que se tubo para acoplar el portacable 1 a los acopladores 1 y 2 de cadena, era hacerlo mediante tornillos, tal y como se puede apreciar en la figura 88.

Al final se descartó esta idea ya que se llegó a la conclusión de que sería mucho más sencillo hacer que estas dos piezas formasen parte de los acopladores 1 y 2 de cadena.

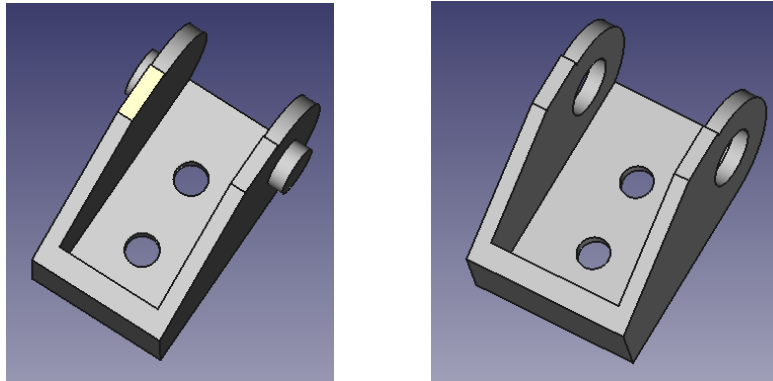


Figura 88.- Conjunto de piezas diseñadas para los acopladores 1 y 2 de cadena portacable 1.

4.4.3 Diseños cadena portacable 2

Se pensó en utilizar la pieza de la figura 89 (que es una pieza sacada de internet) [6], para conectar el extremo final de la cadena portacable 2 con el soporte del Reader. La idea era crear una cadena portacable, en el que uno de sus extremos se conectase a la pieza bautizada como extremo inicial de cadena portacable 2 y el otro extremo a la pieza que se ve en la figura 89. A continuación, se crearía otra cadena que se conectase esta pieza con un extremo final, que a su vez estaría conectado al soporte del Reader mediante tornillos (figura 90).

Esta idea se descartó ya que generaba una estructura bastante inestable. Esto era debido a que las cadenas portacable quedaban suspendida en el aire por lo que al moverse la cama de la impresora podría haber provocado el desacoplamiento o rotura de algunas de las piezas.

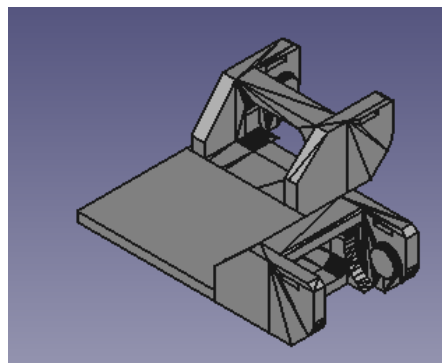


Figura 89.- Pieza que permite unir dos portacables con un ángulo de 90°.

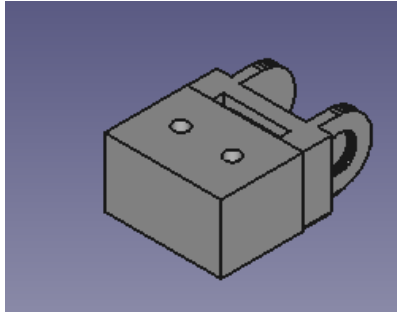


Figura 90.- Extremo final de la cadena portacable 2.

4.5 G-Code

El G-Code o código G es el lenguaje de programación que permite especificar el conjunto de órdenes para controlar todas las funcionalidades de una impresora 3D. Las funcionalidades a controlar son, por ejemplo, los movimientos del cabezal en los ejes disponibles (X, Y, Z en cartesianas, por ejemplo), especificar la temperatura o la velocidad de expulsión del material a extrudir, entre otros.

Los códigos G están formados por comandos G y M que tienen un movimiento o acción asignado [13].

A continuación (tabla 1), se puede ver una lista de algunos comandos G y M con sus movimientos correspondientes.

Tabla 33.- Ejemplos de Códigos G.

Códigos G	
G1	Movimiento coordinado XYZ
G0	Igual que G1
G10	Retraer el filamento según la configuración de M207
G11	Retracta el filamento de recuperación según la configuración de M208
G28	Inicio de todos los ejes
G90	Usa coordenadas absolutas
G91	Usar coordenadas relativas
G92	Establecer la posición actual a las coordenadas dadas
M0	Parada incondicional: espere a que el usuario presione un botón en la pantalla LCD (solo si ULTRA_LCD está habilitado)
M1	Igual que M0
M104	Establecer la temperatura objetivo del extrusor
M105	Leer la temperatura actual
M106	Ventilador encendido
M107	Ventilador apagado
M109	Espere a que la temperatura actual del extrusor alcance la temperatura objetivo.
M114	Mostrar la posición actual

Lo que se ha hecho para diseñar las piezas del sistema de posicionamientos es crear un código G cortando un archivo en Cura y guardándolo. Es decir, lo que se ha hecho es convertir el archivo guardado en G-Code, que es el idioma que la impresora entiende y usa para crear una impresión en 3D [13].

4.5.1 Como se construyen los códigos G

Un código G contiene mucha información. Si se abre el código G en un editor de texto, podría leer la información, pero sería difícil darle sentido [13]. Es por ello por lo que se suele utilizar programas como el Cura, que nos da una mejor comprensión del G-Code. Este tipo de programa permite abrir un código G y ver las rutas que tomará el cabezal de impresión para producir la impresión (véase el ejemplo de la figura 91).

```

; FLAVOR:RepRap
; TIME:9954
; Generated with Cura_SteamEngine 2.3.1
; -- START GCODE --
M104 S210 ; Heat up extruder while leveling
M800 ; Custom GCODE to fire start print procedure
M109 S210 ; Makes sure the temperature is correct before printing
; -- end of START GCODE --
; LAYER_COUNT:50
; LAYER:0
M107
G1 F1500 E-6.5
G0 F3600 X60.267 Y25.419 Z.2
; TYPE:SKIRT
G1 F1500 E0
G1 F1800 X60.614 Y24.706 E0.01319
G1 X61.032 Y24.031 E0.02639
G1 X61.515 Y23.402 E0.03958
G1 X62.06 Y22.825 E0.05278
G1 X62.659 Y22.305 E0.06597
G1 X63.308 Y21.849 E0.07916
G1 X64 Y21.46 E0.09236
G1 X64.727 Y21.142 E0.10556
G1 X65.483 Y20.899 E0.11876
G1 X66.259 Y20.734 E0.13196
G1 X67.384 Y20.635 E0.15074
G1 X70.306 Y20.588 E0.19934
G1 X76.021 Y20.276 E0.29452
G1 X76.77 Y20.27 E0.30698
G1 X83.337 Y20.536 E0.41628
G1 X87.448 Y20.625 E0.48466
G1 X122.515 Y20.655 E1.06782
G1 X123.307 Y20.696 E1.08101
G1 X124.091 Y20.816 E1.0942
G1 X124.86 Y21.014 E1.10741
G1 X125.604 Y21.289 E1.1206
G1 X126.317 Y21.637 E1.13379
G1 X126.991 Y22.056 E1.14699
G1 X127.62 Y22.54 E1.16019
G1 X128.197 Y23.085 E1.17339
G1 X128.716 Y23.685 E1.18658
G1 X128.978 Y24.041 E1.19393

```

Figura 91.- Ejemplo de código G en editor de texto.

4.5.2 Escribir G-Code

La mayoría de los códigos G son generados automáticamente por un programa de corte como Cura. Debido a que hay cientos o miles de movimientos involucrados en la producción de una impresión en 3D, el código G puede tener cientos de páginas. Escribir todo este código manualmente tomaría muchas horas. Cura corta los archivos STL para contener toda la información necesaria para crear una impresión en 3D. Una vez que se guarda un archivo, Cura convierte el archivo STL a G-Code, automatizando [13].

4.5.3 Códigos G empleado en el sistema de posicionamiento

Se ha realizado el estudio de numerosos códigos G y de entre todos ellos se ha determinado que para comandar la impresora son necesarios los siguientes:

- Fijar Temperatura a un bajo valor, por ejemplo 25 °C (i.e. M104 S25).
- Autoajuste del origen de la impresora (se encuentra en el extremo delantero izquierdo de la cama de impresión, i.e. G28).
- Mover el cabezal (i.e. G0 X<Número> Y<Número> Z<Número>, con <Números> en mm).

Capítulo 5

Conclusiones y líneas futuras

5.1 Conclusiones

En primer lugar, en cuanto a los objetivos planteados en este Trabajo Fin de Máster, se puede afirmar que han sido cumplidos, pero no de la forma en la que se había planteado originalmente. Ha sido posible adaptar una impresora 3D para que realice una función distinta a la que originalmente poseía, desarrollando así un sistema de posicionamiento 3D y la infraestructura necesaria para facilitar la medida de inductores RFID empleados en el estándar PalFi.

Para poder cumplir con el objetivo que se ha planteado, se ha tenido que llevar a cabo un exhaustivo estudio de la infraestructura de la impresora Hephestos 2, con el objetivo de poder diseñar el sistema de sujeción empleado para sujetar tanto el Reader como el Tag del sistema PalFi y reducir al mínimo el impacto sobre la funcionalidad original de la impresora 3D a la que se adapta. También se ha diseñado la infraestructura móvil de sujeción del cableado de instrumentación invadiendo el menor volumen posible del área de impresión de la impresora 3D.

Una vez acabado el diseño de la infraestructura, se probó el sistema de posicionamiento introduciendo comando G-Code mediante terminal. El objetivo que se pretendía alcanzar en este Trabajo Fin de Máster era crear un software empleando la herramienta LabView, pero lamentablemente debido al tiempo y a los numerosos problemas que iban surgiendo en el diseño de las piezas, esto no pudo ser posible.

Con esto se termina el proyecto, sin embargo, también se planteó probar el sistema de posicionamiento realizando una serie de mediciones con el sistema PalFi. Este es otro objetivo que no se llegó a alcanzar ya que como se comentó anteriormente este proyecto fue bastante ambicioso y el tiempo para su realización no permitió abarcar todos los objetivos que se pretendía alcanzar. No obstante, aunque no se ha podido realizar estas mediciones, el sistema si ha sido probado y de acuerdo

con las pruebas, este sistema no tendrá ningún problema en usarse para realizar mediciones empleando el sistema PalFi.

5.2 Líneas futuras

Cabe destacar que el principal objetivo de este TFM era conseguir que una impresora 3D pudiera realizar un trabajo distinto, para el que realmente fue diseñada. Es por ello por lo que se podrían diseñar otras piezas para poder realizar otro tipo de tareas. Al fin y al cabo, una impresora 3D no deja de ser un robot, pero a diferencia de los robots tradicionales, esta puede fabricar sus propias piezas. Es tal las posibilidades que plantea las impresoras 3D que incluso se han rediseñado con el fin de elaborar PCB.

Una línea futura es la de modificar el firmware de la impresora para adaptarlo a nuestras necesidades. Un ejemplo de lo que podríamos hacer es modificar el origen que este firmware ofrece por defecto, con el fin de establecer un origen más conveniente.

Referencias bibliográficas

- [1] “PaLFI, Passive Low Frequency Evaluation Kit TMS37157”, <http://www.ti.com/tool/EZ430-TMS37157>, último acceso 08/12/2017
- [2] “HSPICE, The Gold Standard for Accurate Circuit Simulation”, Synopsys Inc, <https://www.synopsys.com/content/dam/synopsys/verification/datasheets/hspice-ds.pdf>, último acceso: 08/12/2017
- [3] “Spectre. Circuit Simulator Accurate, fast SPICE-level simulation”, https://www.cadence.com/content/cadence-www/global/en_US/home/tools/custom-ic-analog-rf-design/circuit-simulation/spectre-circuit-simulator.html, Cadence Design Systems, Inc., último acceso: 08/12/2017
- [4] Ansys Maxwell, <http://www.ansys.com/products/electronics/ansys-maxwell>, último acceso: 08/12/2017
- [5] “Hephestos 2”, MUNDO READER, S.L. (BQ), <https://www.bq.com/es/support/hephestos-2/support-sheet>, ultimo acceso: 08/12/2017
- [6] <http://www.thingiverse.com/>, último acceso: 08/12/2017
- [7] “Software de Desarrollo de Sistemas NI LabVIEW”, National Instruments, <http://www.ni.com/labview/esa/>, último acceso 08/12/2017
- [8] “FreeCAD: An open-source parametric 3D CAD modeler”, <https://www.freecadweb.org/>, último acceso: 08/12/2017
- [9] “Cura 3D Printing Slicing Software”, Ultimaker B. V., <https://ultimaker.com/en/products/cura-software>, último acceso: 08/12/2017
- [10] Izaro: Tecnologías: Metal: Posicionador de precisión de micropiezas, <http://www.izaro.com/contenidos/ver.php?id=es&se=3&su=32&co=1302602048>, ultimo acceso: 08/12/2017
- [11] PI – Solution for precision motion and positioning, <https://www.physikinstrumente.com/en/>, ultimo acceso: 08/12/2017
- [12] Manual de la impresora 3D Hephestos 2. - Canal del Área de Tecnología Educativa, http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/mediateca/ecoescuela/?attachment_id=4068, ultimo acceso: 08/12/2017
- [13] What is g-code? | Ultimaker: 3D Printers, <https://ultimaker.com/en/resources/39071-what-is-g-code>, ultimo acceso: 08/12/2017
- [14] LabVIEW - Wikipedia, la enciclopedia libre, <https://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>, ultimo acceso: 08/12/2017

[15] Crear G-Code con Cura para imprimir en 3D - polaridad.es, <https://polaridad.es/gcode-cura-imprimir-3d/>, ultimo acceso: 08/12/2017

[16] RFID - Radio Frequency Identification and How it Works - RFID, Inc., <http://rfidinc.com/rfid-101/>, ultimo acceso: 08/12/2017

[17] LF HDX System Parameter Calculation for TMS37157 (PaLFI), <http://www.tij.co.jp/jp/lit/an/scba029/scba029.pdf>, ultimo acceso: 08/12/2017

[18] PaLFI Range Extender - TI E2E Community, file:///C:/Users/aulas/AppData/Local/Temp/PaLFI_Power_Reader_Rev3.pdf, ultimo acceso: 08/12/2017