



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA ENVOLVER PASTILLAS DE JABÓN

Autor:

Marcos Delgado, Elisa

Tutor:

Moya de la Torre, Eduardo Julio

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

Valladolid, julio 2023.

AGRADECIMIENTOS

A Luis, eterno compañero, siempre con ideas que aportar.

A mis padres, por estar pendientes de cada foto y cada llamada con cualquier avance. Por motivar la idea original del proyecto.

A mi hermana, por su confianza incondicional desde Italia.

A Ania, amiga montañera, cada día con un plan nuevo para despejarse.

A Loren y Alicia, por aportar materiales, ideas, y apoyo desde Valladolid.

A mi tutor Eduardo, por guiarme en este proyecto.

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

Resumen

Este trabajo consiste en el diseño y realización de un robot capaz de envolver pastillas de jabón, imitando los movimientos que se hacen de forma manual. Los jabones en cuestión son artesanales, por lo que el dispositivo ha afrontado el reto de adaptarse a las pequeñas variaciones de tamaño de la pastilla.

En conjunto, el presente trabajo engloba las áreas del diseño mecánico, el diseño hardware y el diseño software.

El primero de ellos se ha realizado mediante la herramienta *Fusion 360*, para posteriormente imprimir las piezas en 3D. Este proceso de fabricación permite iterar fácilmente la mecánica de las distintas piezas, perfeccionando así su funcionamiento.

En segundo lugar, el desarrollo software y hardware se ha llevado a cabo en paralelo, comprobando parte a parte el funcionamiento del sistema. Los esquemas electrónicos se han realizado en el programa *Kicad*, que posibilita en un futuro diseñar una placa base propia para la aplicación.

Por último, la parte correspondiente a la programación del software se ha realizado en el entorno *Arduino*. Dicho entorno, cuenta con librerías para controlar los dispositivos utilizados.

Se ha tratado de conseguir una interfaz de usuario sencilla de utilizar, permitiendo la selección de un modo de funcionamiento manual en el que se pueda gobernar el giro de los 5 motores presentes en el prototipo.

Palabras clave

Manipulador, jabón, Arduino, diseño mecánico, impresión 3D.

ABSTRACT AND KEYWORDS

Abstract

This work is about the design and fabrication of a robot capable of wrapping bars of soap, imitating manually movements. These soaps are handmade, so the device has faced the challenge of accommodating small size variations.

All in all, this work encompasses the areas of mechanical, hardware and software design.

The first of these designs has been carried out using the Fusion 360 tool, and the 3D printing of the parts has been done subsequently. This manufacturing process allows an easy iteration of the mechanics of the different parts, improving their functionality.

Secondly, the software and hardware development has been done in parallel, testing the system's functionality part by part. The electronic schematics have been created using the Kicad program, which enables the future design of a custom motherboard for the application.

Lastly, the programming of the software has been done in the Arduino environment. This environment includes libraries for controlling the devices used in this application.

The user interface is easy to use, allowing the selection of a manual function mode in which each 5 motors of the prototype can be individually controlled.

Key words

Manipulator, soap, Arduino, mechanical design, 3d printing.

ÍNDICE

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN	17
1.1. Introducción y justificación	17
1.2. Objetivos	18
1.3. Descripción y requerimientos	20
1.3.1. Requerimientos	20
1.3.2. Diseño mecánico	21
1.3.2.1. Material estructura	21
1.3.2.2. Tamaño variable pastilla de jabón	21
1.3.3. Diseño hardware	24
1.3.4. Diseño software	29
1.4. Estructura del documento	29
Capítulo 2: ANÁLISIS.....	31
2.1. Análisis de modelos existentes en el mercado	31
2.1.1. Línea de envasado automático FWC350A	31
2.1.2. Modelos SW 250, 350, 550-Z, 600-D y 700-D.....	32
2.1.3. Envolvedoras de papel para mantequilla y margarina	32
2.2. Análisis del funcionamiento deseado	34
Capítulo 3: SOLUCIÓN TEÓRICA DE LA EJECUCIÓN DE MOVIMIENTOS.....	37
3.1. Simulación de la dinámica de movimientos	37
3.2. Diseño mecánico	43
3.3. Estudio de viabilidad	44
Capítulo 4: SOLUCIÓN PARA LA FABRICACIÓN	45
4.1. Diseño mecánico	45
4.1.1. Proceso de maquetación.....	49
4.1.1.1. Mesa elevadora de tijera accionada con un motor paso a paso.	52
4.1.1.2. Mecanismo de elevación telescópica.	52
4.1.1.3. Modificaciones consecuentes del elevador telescópico en el resto de los bloques	55
4.1.1.4. Preprocesado del papel	57
4.1.1.5. Desarrollo de los últimos pasos	59
4.1.1.6. Estructura de la maqueta prototipada.....	63
4.2. Diseño hardware	66
4.2.1. Pruebas del mecanismo de elevación telescópica.....	66
4.2.2. Pruebas de los últimos pasos con servomotores	67

4.2.3. Elementos electrónicos del prototipo	69
4.2.3.1. Servomotores SG90.....	69
4.2.3.2. Motor paso a paso STH-46D004	70
4.2.3.3. Display LCD.....	70
4.2.3.4. Pulsadores NA.....	71
4.2.3.5. Resistencias.....	72
4.2. Diseño software	72
4.2.3. Pruebas del mecanismo de elevación telescópica.....	72
4.2.4. Pruebas de los últimos pasos con servomotores	73
4.2.5. Elementos a controlar.....	73
4.2.5.1. Servomotores.....	73
4.2.5.2. Motor paso a paso	74
4.2.5.3. Display LCD.....	74
4.2.5.4. Pulsadores NA	74
4.2.6. Flujograma del código.....	76
4.3. Montaje y funcionamiento del prototipo	80
4.3.3. Resultados del modo de funcionamiento manual.....	81
Capítulo 5: SOFTWARE UTILIZADO	87
5.1. Programa Fusion 360º.....	87
5.2. Ultimaker Cura	88
5.3. SimplyPrint.....	88
5.4. Kicad.....	88
5.5. Visual Studio Code	89
Capítulo 6: ESTUDIO ECONÓMICO.....	91
Capítulo 7: CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	93
7.1. Conclusiones	93
7.2. Líneas futuras.....	95
CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS.....	99
A) Cálculos de diseño de la plataforma elevadora de tijera.....	100
B) Pruebas experimentales a los motores paso a paso.....	102
C) Procedimiento de impresión 3D	107
D) Código de programación.....	115
E) Circuito electrónico.....	124
F) Hojas de características	126

G) Planos mecánicos..... 127

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Muestras tomadas para la realización de medidas.....	22
Figura 2. Tabla de medidas de distintas pastillas de jabón.....	22
Figura 3. Resultados obtenidos de las mediciones	23
Figura 4. Pinza kirigami. [3].....	24
Figura 5. Muelle en espiral.....	24
Figura 6. Muelle helicoidal.....	24
Figura 7. Fuentes de alimentación de 12 V y 5 V.....	25
Figura 8. Pulsador normalmente abierto.....	25
Figura 9. Display LCD, 2 filas, 16 columnas.....	25
Figura 10. Servomotor SG90.....	26
Figura 11. Placa de prototipado.....	26
Figura 12. Pinout Arduino Mega.....	27
Figura 13. Estándar AWG	28
Figura 14. Límites tensión y corriente Arduino UNO. [5]	28
Figura 15. Línea de envasado automático FWC350A de Zhejiang Bafu Machinery Co.,Ltd. [6]	31
Figura 16. Envoltorio realizado por el modelo SW 550-Z de ACMA S.p.A. [7].....	32
Figura 17. Proceso de envasado de mantequilla de Lekkerkerker Dairy & Food Equipment. [8]	33
Figura 18. Modelo Benhil Multipack 8340 de Lekkerkerker Dairy & Food Equipment. [8]	33
Figura 19. PASO 0 manual.....	35
Figura 20. PASO 1 manual.....	35
Figura 21. PASO 2 manual.....	35
Figura 22. PASO 3 manual.....	35
Figura 23. PASO 4 manual.....	35
Figura 24. PASO 6 manual.....	36
Figura 25. PASO 5 manual.....	35
Figura 26. PASO 7 manual.....	36
Figura 27. PASO 8 manual.....	36
Figura 28. PASO 9 manual.....	36
Figura 29. Posición inicial.....	37
Figura 30. Posición inicial, ocultando la carcasa.....	37
Figura 31. Posición inicial, ocultando elementos que no interfieren en los primeros pasos.....	38
Figura 32. Numeración de bloques primera propuesta.....	38
Figura 33. Paso 1 primera propuesta.....	39
Figura 34. Paso 2 primera propuesta.....	39
Figura 35. Paso 3 primera propuesta.....	39
Figura 36. Paso 4 primera propuesta.....	40
Figura 37. Posición anterior al paso 5, mostrando todos los elementos y la caja envolvente.....	40
Figura 38. Paso 5 primera propuesta.....	40
Figura 39. Paso 6 primera propuesta.....	41

Figura 40. Paso 7 primera propuesta.....	41
Figura 41. Paso 8 primera propuesta.....	41
Figura 42. Paso 9 primera propuesta.....	42
Figura 43. Paso 10 primera propuesta.....	42
Figura 44. Solución 1. Diseño mecánico primera propuesta.	43
Figura 45. Solución 1. Detalle filamento flexible y muelles.	43
Figura 46. Diseño base segunda propuesta (con caja).	45
Figura 47. Diseño base segunda propuesta (sin mostrar caja)	46
Figura 48. Pasos 1, 2 y 6 segunda propuesta.	46
Figura 49. Pasos 3 y 7 segunda propuesta.....	47
Figura 50. Pasos 4, 5, 8 y 9 segunda propuesta.	47
Figura 51. Secuencia de movimientos que doblan el papel de forma errónea.	48
Figura 52. Pasos 4, 5, 8 y 9 sin servomotores segunda propuesta.	48
Figura 53. Ajuste de dobleces segunda propuesta.	49
Figura 54. Espacio insuficiente entre los bloques 2 y 3 segunda propuesta.	49
Figura 55. Solución: modificación del bloque 2. Bloque 1 optimizado.....	50
Figura 56. Situación inicial diseñada, 14°.....	50
Figura 57. Bloques 3 y 4 modificados, 50°.....	51
Figura 58. Mesa elevadora de tijera.	52
Figura 59. Elevador telescópico. Sección.....	53
Figura 60. Posición de fallo en el elevador telescópico.	54
Figura 61. Secuencia de movimientos problemáticos en el descenso.....	54
Figura 62. Solución adoptada de anillo.....	54
Figura 63. Rosca de paso menor.	55
Figura 64. Rosca corregida, paso igual que la del eslabón 2.....	55
Figura 65. Implementación de guías laterales en los bloques 1, 3 y 4.	56
Figura 66. Modificaciones adicionales bloque 1.....	56
Figura 67. Modificaciones bloques 3 y 4.....	57
Figura 68. Primera versión del marcador de pliegues (canto redondeado).	58
Figura 69. Segunda versión del marcador de pliegues (canto vivo).	58
Figura 70. Diseño para impresión 3D del marcador de pliegues.	58
Figura 71. Modelos impresos en 3D.	59
Figura 72. Diseño opción 1 del desarrollo de los últimos pliegues.....	60
Figura 73. Piezas impresas en filamento flexible TPU.	60
Figura 74. Diseño opción 2 del desarrollo de los últimos pliegues.....	61
Figura 75. Modificaciones plataforma y engranajes.....	62
Figura 76. Diseño de las guías inferiores.....	62
Figura 77. Ubicación de las guías inferiores en el conjunto.....	62
Figura 78. Estructura de madera MDF tipo caja.	63
Figura 79. Maqueta con caja de madera MDF.....	64
Figura 80. Estructura de varillas de acero.....	64
Figura 81. Modificaciones en el bloque 1 para la estructura de varillas.	65
Figura 82. Modificaciones en el bloque 2 para la estructura de varillas.	65
Figura 83. Modificaciones del conjunto del último paso para la estructura de varillas. ...	65
Figura 84. Base de la estructura de varillas.	66
Figura 85. Conexiones prueba elevador telescópico.	67

Figura 86. Esquema de alimentaciones.	68
Figura 87. Conexiones de los servomotores y el Arduino Mega.....	69
Figura 88. Conexiones servomotor SG90.....	70
Figura 89. Cambio de sentido de un motor paso a paso mediante un puente H. [10]	70
Figura 90. Pinout display LCD.....	71
Figura 91. Bucle del programa de prueba del motor paso a paso.....	72
Figura 92. Posiciones 0º en los servomotores.	73
Figura 93. Inicialización de la posición de los 4 servomotores.	74
Figura 94. Cambio posición por defecto librería Servo.h.....	74
Figura 95. Solución al efecto "rebote de los pulsadores".....	75
Figura 96. Esquema del menú del programa.	75
Figura 97. Maqueta final solución 2.....	81
Figura 98. Marcado de dobleces en el papel.	82
Figura 99. Papel con las dobleces marcadas y cinta de doble cara pegada.....	82
Figura 100. Posición inicial segunda propuesta.....	82
Figura 101. Pasos 1, 2 y 6 segunda propuesta.	82
Figura 102. Paso 3 segunda propuesta. Vista alzado.....	83
Figura 103. Paso 3 segunda propuesta. Vista planta.	83
Figura 104. Paso 7 segunda propuesta.	83
Figura 105. El jabón desciende hasta la posición apropiada para realizar los últimos pliegues.	83
Figura 106. Paso 4 segunda propuesta. Avance del servomotor.....	84
Figura 107. Paso 4 segunda propuesta. Vista del papel.	84
Figura 108. Paso 4 completado segunda propuesta.....	84
Figura 109. Paso 5 segunda propuesta.	84
Figura 110. Paso 9 segunda propuesta.	85
Figura 111. Retroceso de los servomotores.	85
Figura 112. Tras retroceder los tres servomotores que se encargaron de los primeros tres pliegues, queda el espacio libre para que el jabón descienda.	85
Figura 113. Descenso de la plataforma elevadora hasta la posición final para retirar el jabón.	85
Figura 114. Resultado final.	86
Figura 115. Diseño plataforma elevadora.....	100
Figura 116. Conexiones motores unipolares y bipolares.....	102
Figura 117. Motor STH-46D004.....	102
Figura 118. Comprobación de la inexistencia de contactos entre distintas bobinas. Motor STH-46D004.	103
Figura 119. Resistencia equivalente entre patillas de cada bobina del motor. Motor STH-46D004.....	103
Figura 120. Motor M42SP-6TB.....	103
Figura 121. Resistencia equivalente entre patillas de cada bobina del motor. Motor M42SP-6TB.....	104
Figura 122. Comprobación de la inexistencia de contactos entre distintas bobinas. Motor M42SP-6TB.....	104
Figura 123. Motor SLC-42D003.....	104

Figura 124. Resistencia equivalente entre patillas de cada bobina del motor. Motor SLC-42D003.....	105
Figura 125. Comprobación de la inexistencia de contactos entre distintas bobinas. Motor SLC-42D003.....	105
Figura 126. Motor 28BYJ-48.....	105
Figura 127. Características técnicas motor 28BYJ-48.....	106
Figura 128. Motor M42SP-5TA.....	106
Figura 129. Características técnicas motor M42SP-5TA.....	106
Figura 130. Menú de impresión 3D Fusion 360.....	107
Figura 131. Selección de cara inferior.....	108
Figura 132. Centrado de la pieza en la cama de impresión.....	108
Figura 133. Parámetros de calidad.....	109
Figura 134. Parámetros de las paredes.....	109
Figura 135. Parámetros de las superficies superior e inferior.....	110
Figura 136. Parámetros del relleno.....	110
Figura 137. Parámetros del material.....	110
Figura 138. Parámetros de velocidad.....	111
Figura 139. Parámetros de recorrido.....	111
Figura 140. Parámetros de refrigeración.....	112
Figura 141. Parámetros de soportes.....	112
Figura 142. Parámetros de adhesión a la cama.....	112
Figura 143. Aplicación online Simply Print.....	113

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción y justificación

Hoy en día, el mundo se encuentra en una etapa de avance exponencial en cuanto a la tecnología. En muchos sectores industriales y comerciales, la automatización ha pasado a ser una herramienta clave para su desarrollo, conllevando una reducción de costos y un aumento de productividad.

En este ámbito, la electrónica y automática tienen un papel imprescindible. El aporte de ideas de carácter innovador y la propuesta de soluciones técnicas convierten esta rama de ingeniería en un elemento imprescindible en el mundo actual.

Dentro de este panorama, el presente trabajo trata de realizar un prototipo de un manipulador para envolver pastillas de jabón, como un ejemplo práctico de la aplicación de la automatización a pequeña escala.

Durante mis estudios de ingeniería, he desarrollado especial interés en el área de electrónica y programación. Además, siempre he tenido una personalidad práctica, y el desarrollo de un proyecto tangible motiva mucho mi dedicación y me facilita afianzar conocimientos teóricos.

Por otro lado, influenciada sin duda por mi familia, siempre me han atraído los procesos manuales del trabajo artesanal. En concreto, me llama la atención de forma especial el fascinante modo en que las manos son capaces de hacer, con aparente sencillez, trabajos complicados en los que intervienen una gran cantidad de variables. Imitar estos trabajos es algo que la robótica no ha parado de perseguir, y que, actualmente, podemos afirmar que lo consigue en muchas ocasiones de forma brillante.

En este caso, ha sido mi madre, junto con su proyecto personal, la principal inspiración del tema del presente trabajo. Poniendo en práctica tantos sus conocimientos de licenciada en ciencias químicas, como los adquiridos a través de generaciones de sabiduría popular, ha construido un pequeño taller donde fabrica jabones sólidos de forma artesanal.

Dichos jabones van envueltos de una forma concreta que permite no utilizar ningún plástico. Quedan sellados con la propia pegatina que indica los ingredientes, sin necesidad de usar cinta adhesiva.

El material del envoltorio se denomina papel cristal, hecho exclusivamente de celulosa prensada. Gracias a su reducido espesor, es fácilmente manipulable y permite conseguir un envoltorio ajustado a la pastilla.

Cabe destacar que, al tratarse de un producto artesanal, no se fabrican dos modelos iguales. Las dimensiones de cada jabón pueden variar ligeramente respecto del resto producidos en el mismo lote. Para la automatización de un

proceso, esto supone una dificultad añadida y el modelo debe ser capaz de adaptarse a las variaciones mencionadas.

El proceso de envolver a mano las pastillas de jabón es tedioso, y de ahí surgió la idea de llevar a cabo un proyecto de diseño y elaboración de un prototipo que sea capaz de envolverlas imitando los pliegues hechos manualmente.

El presente trabajo está encuadrado en el área de la robótica, incluyendo el diseño mecánico, la electrónica y la programación. El objetivo es desarrollar un modelo que automatice un proceso que, por el momento, se realiza de forma manual.

Se comienza el proyecto en un TRL 1 (idea básica) y se espera alcanzar un nivel TRL 4. Para ello, se realizarán pruebas en un entorno controlado (no en el entorno real) de los distintos componentes y del conjunto final. [1]

1.2. Objetivos

Se desea diseñar y construir un robot capaz de envolver una pastilla de jabón de forma similar a la llevada a cabo manualmente.

Como se ha mencionado en la introducción, el material del envoltorio es papel cristal, un tipo de papel transparente y delgado que se utiliza comúnmente para envolver alimentos y ciertos productos de higiene y cosmética. Es un papel resistente al aceite y a la humedad, lo que lo hace ideal para proteger este tipo de productos. Además, su transparencia permite una visualización clara del contenido del envoltorio. Por todo ello, el objetivo de este prototipo es conseguir controlar con cierta precisión los dobleces de este tipo de papel. No se estudiará la opción de cambiar el material del envoltorio (el concepto de diseño cambiaría completamente si se tratara de plástico termo retráctil, u otros materiales).

Además, también será necesario ceñirse a la forma concreta de envolver el jabón que se emplea manualmente. El resultado se ha estudiado para no necesitar posteriormente más que la etiqueta de ingredientes para sellar la envolvente.

Las pastillas de jabón en cuestión son artesanales, por lo que se deben tener en cuenta las pequeñas variaciones de tamaño. Para saber la tolerancia necesaria, se realizará un estudio experimental tomando una cantidad significativa de medidas de distintas muestras.

El manipulador debe tener un modo de funcionamiento manual que permita elegir el paso en concreto a realizar. Se elegirá qué motor se desea mover y en qué dirección. Se trata de habilitar todos los movimientos necesarios para poder realizar cada uno de los pliegues del papel sobre la pastilla de jabón.

Para controlar fácilmente los elementos anteriormente comentados, se hará uso de una pantalla LCD que muestre un sencillo menú de funcionamiento. En él se incluirá la opción de otro modo automático para su posterior desarrollo,

ya fuera del alcance de este proyecto. El modo automático seguirá la secuencia de movimientos definida hasta completar el envoltorio.

Otro de los principales objetivos es llegar a construir una maqueta, para lo que se intentará emplear el menor número de materiales posible, reduciendo así el coste. También se aprovecharán materiales de dispositivos en desuso. Se trata de un primer prototipo, por lo que, hasta comprobar su viabilidad, no resulta conveniente realizar una inversión considerable en optimizar materiales.

Para la elaboración de la estructura, el principal recurso empleado será la tecnología de impresión 3D, que permite crear diseños con casi total libertad morfológica.

Se estudiarán posibles soluciones a nivel mecánico de desarrollar los movimientos concretos deseados. Se evaluará la viabilidad de cada una y, en función de los resultados previsibles, se procederá al desarrollo hardware y software.

El trabajo perseguirá también objetivos secundarios como son:

- Conseguir una interfaz de usuario fácilmente manejable.

Para este primer prototipo, será imprescindible poder gobernar cada actuador individualmente de forma sencilla. Para ello, se propone realizar un pequeño menú en una pantalla que permita elegir el motor que se quiere controlar. De cara a un futuro funcionamiento automático, el manejo cómodo de los motores para ajustar cada parámetro de control resultará muy apropiado.

- Tratar de que el robot tenga el menor tamaño posible.

Para futuras aplicaciones, resulta muy conveniente obtener un dispositivo cómodo de manejar y transportar. De esta forma, solo será necesario un espacio con conexión a la red eléctrica para ponerlo en funcionamiento.

- Optimizar el tiempo de realización de un ciclo completo de envasado.

Es conveniente que el usuario, en función de sus necesidades, pueda modificar el control del tiempo.

- Elaboración de la documentación necesaria.

Finalmente, se generará la documentación necesaria para permitir la continuidad de este proyecto en el futuro, proporcionando información detallada sobre los procesos y las soluciones implementadas: esquemas electrónicos, listados y descripción de componentes, código de programación, planos de fabricación y cualquier información relevante.

1.3. Descripción y requerimientos

1.3.1. Requerimientos

A continuación, se indican las especificaciones técnicas que debe cumplir el prototipo de robot diseñado.

Cabe recalcar que se tratará de un prototipo de bajo costo, por lo que se intentará usar, en su mayor parte, materiales reutilizados de otros dispositivos. Este requerimiento se ha establecido inicialmente para que la realización de este prototipo sea factible, y estará presente en algunas justificaciones de elección de componentes, materiales y entornos de desarrollo.

Alimentación

La alimentación principal del dispositivo se realiza mediante conexión directa a red: 230V, 50 Hz. Mediante dos fuentes de alimentación, se suministra energía a los distintos componentes del prototipo (ver Figura 86).

Características físicas

- Masa promedio de la pastilla de jabón: 65 g.
- Dimensiones máximas de la pastilla de jabón: 62 x 28 x 46 mm³.
- Dimensiones mínimas de la pastilla de jabón: 56 x 22 x 41 mm³.
- Dimensiones del papel de la envoltura: 125 x 175 mm².
- Dimensiones máximas del manipulador: 500 x 500 x 1000 mm³. Se tratará de reducir el tamaño lo máximo posible para aumentar la comodidad y practicidad de uso.

Entorno de funcionamiento

El robot se utilizará solamente en interiores, en una sala dedicada al proceso en retoques, envoltura y acabado de la producción. Por ello, no es necesaria incluir ninguna protección contra líquidos. El rango de temperaturas para las que está preparado en base a las limitaciones de sus componentes es de 5 a 40 °C.

Seguridad

Se trabaja en todo momento con tensiones inferiores a 12 V, seguras para el manejo del usuario.

1.3.2. Diseño mecánico

Las primeras ideas acerca de llevar a cabo este proyecto pasan sin duda por la parte más puramente mecánica. Igual que en la mayoría de los trabajos de prototipado, los primeros pasos son dar con la forma, estructura y funcionamiento de la maqueta que permitirá cumplir los propósitos iniciales.

En este proyecto, se comienza por plantear un par de cuestiones que resultan convenientes de analizar antes de entrar en el desarrollo de soluciones concretas.

Como se ha comentado en la introducción del presente documento, los jabones sufren pequeñas variaciones de tamaño. El tratamiento de esta cuestión condicionará notablemente el desarrollo del trabajo. Por otro lado, se han planteado distintos materiales cuyo uso podría resultar conveniente.

1.3.2.1. Material estructura

Para la realización del prototipo, se plantea la posibilidad de utilizar distintos materiales:

- **Madera MDF (con fibras de densidad media)**

La madera de fibras de densidad media tiene la ventaja de que puede ser mecanizada fácilmente y es bastante económica (8 €/m²). Su principal inconveniente es su mala resistencia al agua, pero no incumbe en la aplicación de este proyecto.

- **Metacrilato**

Este material es muy resistente a impactos y a la intemperie, es ligero y se trabaja con facilidad. Por otro lado, resulta menos económico (20 €/m²).

- **Plásticos de impresión 3D**

Se trata de plásticos como el ABS, PLA, PTEG, TPU, etc. Esta opción conlleva otro proceso de fabricación distinto, más preciso y económico. Para este proyecto de prototipado, la impresión 3D es una buena propuesta, ya que permite obtener fácilmente cualquier diseño e iterar modificaciones de forma económica.

Los tipos de plástico que se utilizará serán PLA y TPU. En los anexos de este documento se detalla el procedimiento a seguir para realizar una impresión 3D (ver Procedimiento de impresión 3D).

1.3.2.2. Tamaño variable pastilla de jabón

Es necesario tener en cuenta las pequeñas variaciones de tamaño de las pastillas para que el envoltorio quede ajustado al jabón. Se han tomado

mediciones de distintas muestras para ver qué tolerancia debe tener el robot. Para ello, se han elegido las pastillas de jabón más dispares: las correspondientes a los laterales de un mismo lote (al cortarlas son las que sufren más variación) y de distintos lotes (variaciones en altura).

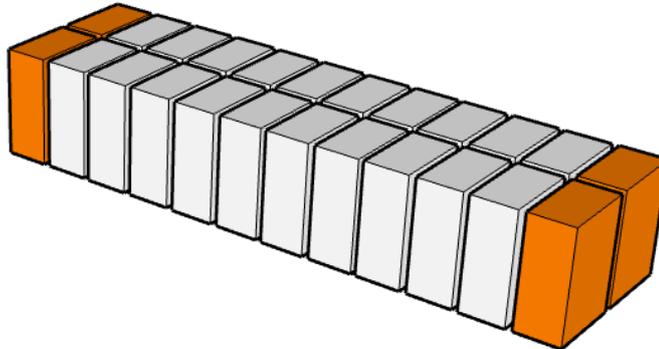


Figura 1. Muestras tomadas para la realización de medidas.

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 1 y Figura 2. Posteriormente, se tendrá en cuenta cierto margen de seguridad con respecto a estas medidas, para garantizar el correcto funcionamiento en todos los casos.

Nº muestra	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
1	61,85	23,45	45,1
2	60,4	22,6	43,1
3	61,78	25,95	45,05
4	60,25	23,75	42,7
5	61,35	26,05	45,6
6	61,75	24,75	43,4
7	60,5	25,05	43,5
8	60,25	25,7	42,85
9	60	23,9	45,65
10	60,6	24	42,9
11	58,9	23,3	41,65
12	58,05	24,45	42,2
13	57,6	26,05	42,35
14	60,25	23,15	41,75
15	59,2	26,75	41,75
16	57,4	22,8	43,35
17	57,3	27,2	43,4
18	56,85	23,4	41,85
19	56,35	25,15	43,95
20	58,25	24,15	42,4

Figura 2. Tabla de medidas de distintas pastillas de jabón

	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
Máxima desviación	5.5	4.6	4
Media	59.444	24.58	43.225
Mínimo	56.35	22.6	41.65
Máximo	61.85	27.2	45.65

Figura 3. Resultados obtenidos de las mediciones

Para solucionar dicho problema, se han planteado las soluciones explicadas a continuación:

- Medir las dimensiones correspondientes al ancho y al alto mediante visión artificial, y calcular la tercera en base a la densidad y peso del tipo de jabón en cuestión.

Esta solución requeriría ampliar el código para permitir seleccionar el tipo de jabón (la densidad no es la misma para todos), calcular en cada caso la altura y modificar el alcance de los movimientos de los servomotores. Además, se necesitarían más materiales (pequeña báscula, selectores para indicar el tipo de jabón entre otros) e incrementaría el coste final del producto.

- Implementar sensores de fuerza o de presión para detener el movimiento de los servomotores cuando se detecte contacto.

Conllevaría un aumento considerable del coste final debido a los sensores. Además, supone la necesidad de que entre el actuador y el jabón se encuentre el sensor, en lugar de poder elegir el material más adecuado para la superficie de contacto.

- Emplear la tecnología *Soft Robotic*. Consiste en sustituir el actuador tradicional de un robot por uno neumático de baja presión, hecho de material flexible. Este tipo de actuadores es muy comúnmente utilizado cuando las piezas a tratar son irregulares, delicadas o de tamaños variables. Permitiría tratar con cierta delicadeza tanto el jabón como el papel del envoltorio. [2]
- Otro tipo de actuadores “suaves” que se adaptan a distintas formas de objetos son los realizados mediante la técnica del kirigami. Dicha técnica es originaria de Japón y consiste en realizar formas en 3D haciendo cortes en papeles. Se ha desarrollado una pinza robótica basada en este concepto, cuyo funcionamiento puede verse en la Figura 4. Esta opción puede resultar útil para este trabajo ya que los jabones tienen variaciones de tamaño y el papel es considerablemente delicado.

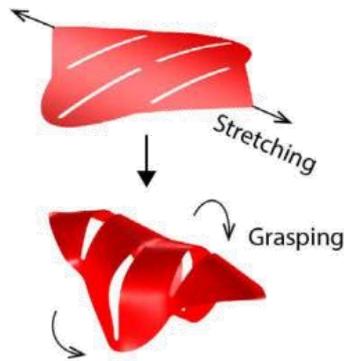


Figura 4. Pinza kirigami. [3]

- Implementar muelles para cubrir las pequeñas variaciones. En las partes móviles, se pueden colocar muelles en espiral que amortigüen el movimiento de los servomotores. En las partes fijas se pueden utilizar de tipo helicoidal para ajustar la estructura a cada tamaño de jabón. Estos tipos de muelles pueden verse en Figura 5 y Figura 6.



Figura 5. Muelle en espiral



Figura 6. Muelle helicoidal

- Diseñar la estructura con formas que se adapten a estas variaciones. También sería conveniente tener en cuenta el material de las superficies en contacto con el jabón. Dicho material puede ser de tipo espuma de polietileno o fieltro, que pueda absorber también pequeñas variaciones.

1.3.3. Diseño hardware

Teniendo en cuenta las prestaciones que debe tener el robot, se ha desarrollado una lista de componentes que serán necesarios:

- **Fuente de alimentación** de 5 y 12 V.

En este caso, se cuenta con una fuente de 12 V para alimentar el driver del motor paso a paso, y con otra de 5 V para los servomotores, la pantalla LCD y los botones.



Figura 7. Fuentes de alimentación de 12 V y 5 V.

- **Pulsadores** que permitan navegar por un pequeño menú. De esta forma se podrá elegir el modo de funcionamiento: manual/ automático, los motores a mover y su sentido de giro.



Figura 8. Pulsador normalmente abierto.

- **Display LCD**, en el que se mostrará en qué punto de ejecución se encuentra el robot, así como el menú que permitirá al usuario manejar el prototipo.

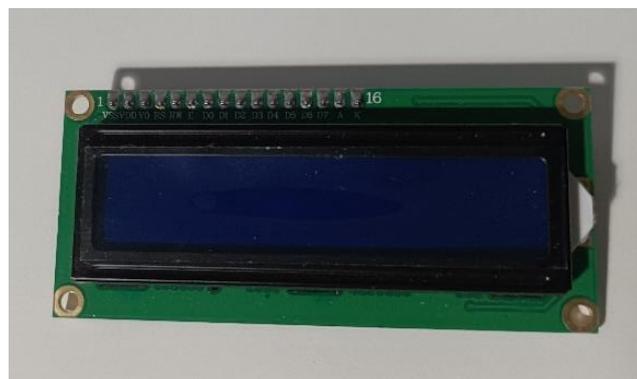


Figura 9. Display LCD, 2 filas, 16 columnas.

- **Servomotores y motor paso a paso**, que se encargan de mover las partes mecánicas.



Figura 10. Servomotor SG90.

- **Placa de conexiones (protoboard).**

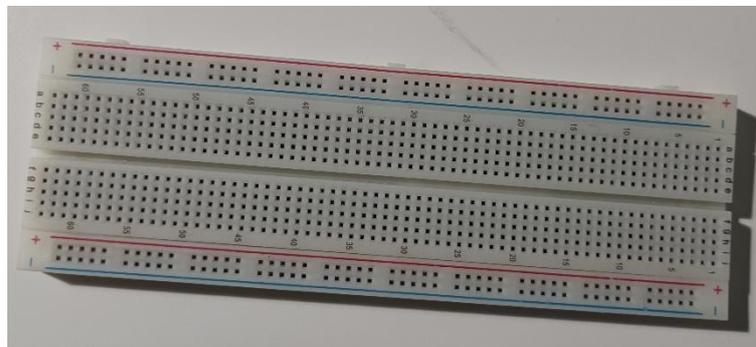


Figura 11. Placa de prototipado.

- **Microcontrolador** para implementar todo el funcionamiento.

Para implementar el funcionamiento del robot, se ha decidido utilizar el entorno Arduino, debido a que es universalmente conocido y resultará sencillo obtener información técnica. Además, en la asignatura de Sistemas Robotizados (cursada en la UPV, por intercambio SICUE), se trabajó con este entorno.

Existen varios microcontroladores Arduino, cuya principal diferencia es el número de pines y la conectividad. Para decidir el que se va a utilizar, nos fijaremos sobre todo en los pines digitales, ya que para esta aplicación todas las entradas y salidas serán de este tipo.

- Arduino Nano: Resultaría apropiado por su tamaño reducido, pero puede ser limitante el número de pines: 14 digitales.
- Arduino Uno: Este modelo tiene mayor tamaño que el anterior, y el mismo número de pines digitales.
- Arduino Mega: Es el más grande de los tres, cuenta con 54 pines digitales. El pinout puede verse en la Figura 12 a continuación.

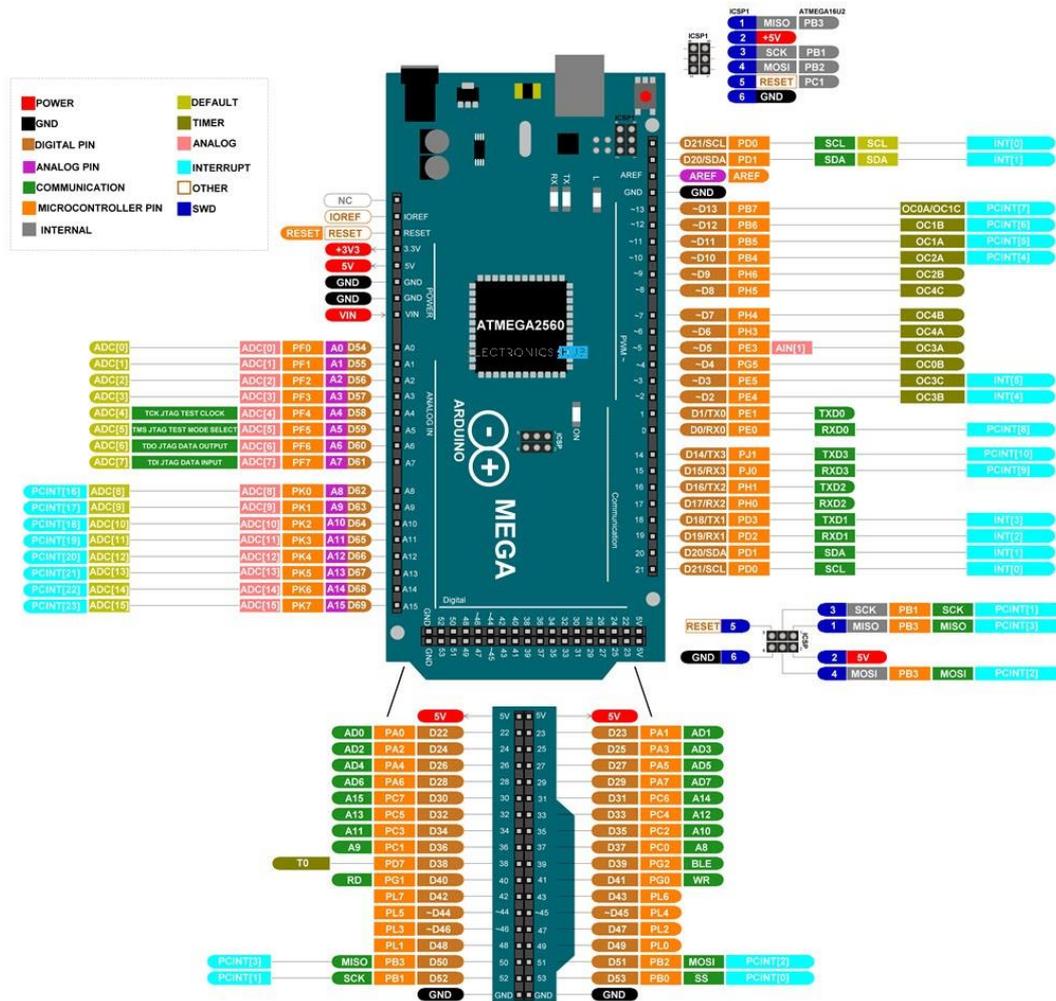


Figura 12. Pinout Arduino Mega.

Se ha decidido utilizar este último modelo, ya que la aplicación cuenta con un número elevado de entradas y salidas. Además, resulta muy positiva la opción de contar con margen suficiente para añadir posibles sensores (por ejemplo, para detectar la posición del jabón) de cara a futuro. [4]

- **Cables de conexión.** Se calculará el diámetro en función de la corriente máxima que circulará por el circuito. Para ello, se utilizará el estándar AWG:

AWG	Dia mm	SWG	Dia mm	Max Amps	Ohms / 100 m
11	2.30	13	2.34	12	0.47
12	2.05	14	2.03	9.3	0.67
13	1.83	15	1.83	7.4	0.85
14	1.63	16	1.63	5.9	1.07
15	1.45	17	1.42	4.7	1.35
16	1.29	18	1.219	3.7	1.48
18	1.024	19	1.016	2.3	2.04
19	0.912	20	0.914	1.8	2.6
20	0.812	21	0.813	1.5	3.5
21	0.723	22	0.711	1.2	4.3
22	0.644	23	0.610	0.92	5.6
23	0.573	24	0.559	0.729	7.0
24	0.511	25	0.508	0.577	8.7
25	0.455	26	0.457	0.457	10.5
26	0.405	27	0.417	0.361	13.0
27	0.361	28	0.376	0.288	15.5
28	0.321	30	0.315	0.226	22.1
29	0.286	32	0.274	0.182	29.2
30	0.255	33	0.254	0.142	34.7
31	0.226	34	0.234	0.113	40.2
32	0.203	36	0.193	0.091	58.9
33	0.180	37	0.173	0.072	76.7
34	0.160	38	0.152	0.056	94.5
35	0.142	39	0.132	0.044	121.2

Figura 13. Estándar AWG

Limites de voltaje de entrada

- **7~12 V** recomendado
- **6~20 V** limite absoluto
- Pines Entrada/Salida (E/S): **-0.5 V a +5.5 V**
(el máximo real es $V_{cc} + 0.5 V$ para un arduino de 5 Volts) *Nota 1

Limites de corriente de salida:

- Si es alimentado por USB: un total de **500 mA**
- Si es alimentado por fuente externa o batería: un total de **500 mA~1 A**
- Máximo individual por pin de Entrada/Salida: **40 mA**
- Suma de todas las Entradas/Salidas combinadas
(SIN incluir el pin de "5V"): **200 mA**

Figura 14. Límites tensión y corriente Arduino UNO. [5]

En las indicaciones de la Figura 14, se puede ver que la máxima intensidad en los cables será de 40mA (correspondiente al máximo individual por pin). Como se puede ver en la Figura 13, esta intensidad apenas afectará a la decisión del tipo de cable, ya que es muy reducida.

En este caso, la resistencia del cable tampoco será limitante porque las longitudes son pequeñas.

En vista a lo analizado, se elegirá el cable que resulte más económico: 22AWG. Como el proyecto está en fase de prototipado, se emplearán cables tipo *Dupont*, que permiten un fácil conexionado entre los elementos y la placa de pruebas.

1.3.4. Diseño software

La programación se realizará en el entorno correspondiente al microcontrolador.

En primer lugar, se definirán las entradas y salidas, con sus pines correspondientes. Posteriormente, se desarrollará un menú de uso, que permita la selección de un modo manual de ejecución de movimientos. Se comprobará el modo de funcionamiento y el código se dividirá en dos partes. Se leerá el motor que se desea gobernar y, mediante dos pulsadores, se hará girar en ambos sentidos.

Para controlar, tanto los servomotores como el motor paso a paso, se incluirán las librerías correspondientes proporcionadas por Arduino.

1.4. Estructura del documento

A continuación, se describe brevemente la estructura que se ha seguido en el presente documento.

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

Se ha incluido una descripción de los objetivos que se realizarán en el trabajo junto con la justificación del mismo, añadiendo una pequeña parte dedicada a explicar la motivación personal.

También se especifican las características técnicas que se desea obtener, detallando los requisitos del diseño mecánico, software y hardware.

Capítulo 2: ANÁLISIS

En este capítulo, se han mencionado modelos existentes en el mercado que presentan similitudes con el que se desarrolla en este proyecto. También se ha incluido un análisis del funcionamiento deseado.

Capítulo 3: SOLUCIÓN TEÓRICA DE LA EJECUCIÓN DE MOVIMIENTOS

Se desarrolla la primera propuesta de solución, realizando una simulación de los movimientos mecánicos.

Capítulo 4: SOLUCIÓN PARA LA FABRICACIÓN

A continuación, se detalla la segunda propuesta de solución orientada a su posterior fabricación. Se indica el proceso de modificaciones llevado a cabo en función de los resultados más o menos satisfactorios.

Capítulo 5: SOFTWARE UTILIZADO

En este apartado se explican los programas utilizados y sus principales características y herramientas.

Capítulo 6: ESTUDIO ECONÓMICO

Se incluyen los costos de este proyecto, organizados en distintos capítulos.

Capítulo 7: CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En este capítulo se han desarrollado las conclusiones obtenidas de la realización de este proyecto, indicando los objetivos cumplidos y las líneas futuras.

Capítulo 8: BIBLIOGRAFÍA

Por último, se han listado las fuentes de información que han orientado este trabajo.

ANEXOS

En la parte final del proyecto, se han añadido los anexos correspondientes a las partes mecánicas, electrónicas y de programación.

Capítulo 2: ANÁLISIS

2.1. Análisis de modelos existentes en el mercado

En los últimos años, el mundo de la industria se ha ido transformando, tratando de homogeneizar y estandarizar procesos. La idea planteada en el trabajo difiere algo de este objetivo. En el presente caso, para realizar el envoltorio de la pastilla de jabón, se plantea el reto de conseguir el mismo envoltorio que se ha usado hasta el momento, mientras que en los procesos industriales se busca conseguir un objetivo, modificando, si es necesario, el proceso original. Para el caso que aplica, la industria trataría de conseguir pastillas de jabón exactamente iguales, en lugar de buscar una forma de envolverlas con cierta flexibilidad.

Debido a lo comentado, en el sector de la robótica no se encuentran modelos que realicen exactamente la idea que persigue este trabajo. Sin embargo, sí que existen ejemplos de maquinaria destinada a envolver productos de forma parecida a la deseada. A continuación, se mencionan algunos de ellos:

2.1.1. Línea de envasado automático FWC350A

Es una máquina diseñada por la empresa *Zhejiang Bafu Machinery Co.,Ltd.* con el objetivo de alimentar automáticamente y envasar productos de tamaño pequeño y mediano. Realiza todo el proceso de forma completamente automática.

En la industria, ha sido utilizada para envolver distintos tipos de productos, incluidos jabones. La fórmula que han utilizado para conseguirlo es el tipo de envoltorio, que se adapta fácilmente a distintos tamaños y formas. El producto queda en el interior de una bolsa sellada.

En la Figura 15 se muestra el modelo de máquina, junto con dos ejemplos de productos embalados.

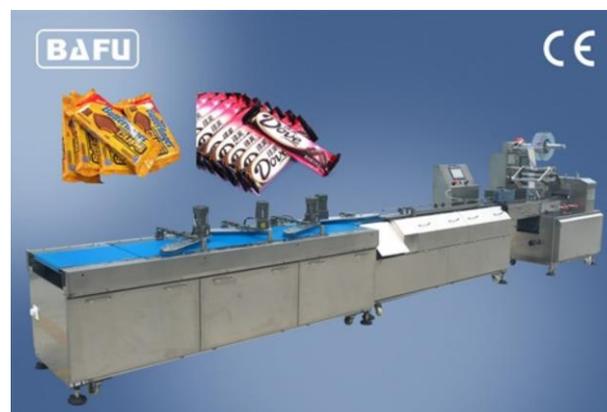


Figura 15. Línea de envasado automático FWC350A de Zhejiang Bafu Machinery Co.,Ltd. [6]

2.1.2. Modelos SW 250, 350, 550-Z, 600-D y 700-D

La empresa ACMA S.p.A. ha desarrollado varios productos destinados específicamente a envolver jabones. En la Figura 16 se muestra el tipo de envoltorio que realiza, formado por un refuerzo interior y una envoltura exterior.

El material de embalaje es plástico termosellable y, gracias al refuerzo interno utilizado, admite formas de producto tanto rectangular como ovalado.

Se utiliza en procesos industrializados por su alta velocidad y su capacidad de funcionar en flujo continuo.



Figura 16. Envoltorio realizado por el modelo SW 550-Z de ACMA S.p.A. [7]

2.1.3. Envolvedoras de papel para mantequilla y margarina

El tipo de maquina utilizada en la industria que más tiene en común con el proyecto planteado son las envolvedoras de mantequilla.

Aunque no se trate del mismo producto, el tipo de envoltorio utilizado es similar al que se plantea en este prototipo. El material difiere ligeramente, ya que se trata de papel de aluminio o papel de pergamino. Estos permiten fijar fácilmente los dobleces y mantenerlos en la posición deseada sin necesidad de aplicar una pequeña fuerza continúa.

Una de las grandes empresas enfocada en esta tarea de empaquetar productos alimenticios es *Lekkerkerker Dairy & Food Equipment*. En la Figura 17 se muestra de forma esquemática el resultado obtenido del proceso de plegado.

Cuenta con distintos modelos en función de la proporción en gramos (de mantequilla en este caso). En la Figura 18 se muestra el procedimiento llevado a cabo por una de sus máquinas destinadas a un producto de entre 50 g y 250 g (modelo Benhil Multipack 8340).

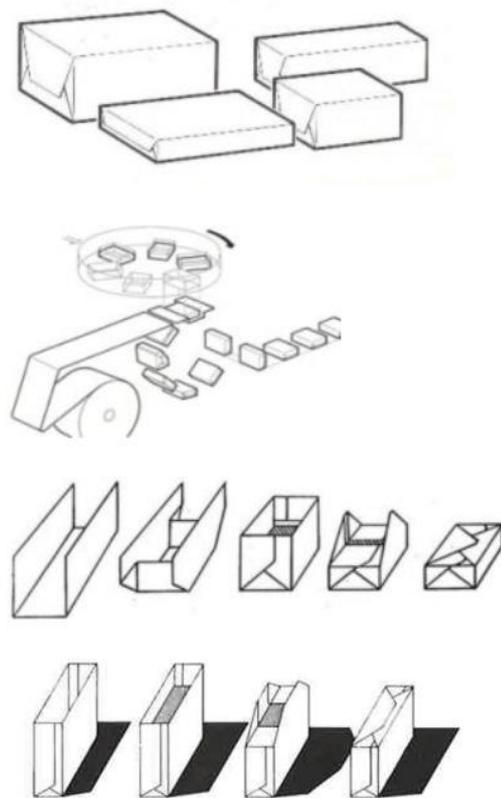


Figura 17. Proceso de envasado de mantequilla de Lekkerkerker Dairy & Food Equipment. [8]



Figura 18. Modelo Benhil Multipack 8340 de Lekkerkerker Dairy & Food Equipment. [8]

2.2. Análisis del funcionamiento deseado

Como ya se ha mencionado, el robot imitará los pasos realizados de forma manual. Dichos pasos son los indicados a continuación, ilustrados posteriormente para facilitar su comprensión.

- Paso 0: Se parte con el papel colocado horizontalmente debajo del jabón, como se indica en la *Figura 19*.
- Paso 1: Se deben plegar los extremos superior e inferior del papel sobre el jabón, tratando de que éste quede lo más centrado posible (*Figura 20*).
- Paso 2: Consiste en repetir el paso anterior con el extremo derecho del papel (*Figura 21*).
- Paso 3: Se pliegan las esquinas (una hacia la parte superior y la otra hacia la inferior). El papel sobrante a la derecha debe formar aproximadamente 90° con el plano horizontal, como se aprecia en la *Figura 22*.
- Paso 4: Se debe doblar el papel de las esquinas tanto superior como inferior hacia la superficie del jabón, de manera que en la parte derecha quede formado un triángulo (*Figura 23*).
- Paso 5: Se pliega el triángulo formado en el paso anterior sobre el propio jabón, según se muestra en la *Figura 25*.
- Paso 6: Consiste en doblar el extremo izquierdo de papel sobre la pastilla, formando 90° con la horizontal (*Figura 24*).
- Paso 7: Se pliegan las dos esquinas del papel restantes, una sobre la parte superior del jabón y la otra sobre la inferior, como se muestra en la *Figura 26*.
- Paso 8: Volvemos a plegar las esquinas de papel sobrante sobre la parte anterior de la pastilla. Debe quedar forma triangular en la parte izquierda (*Figura 27*).
- Paso 9: Por último, se debe doblar el restante de papel sobre el jabón. El resultado puede verse en la *Figura 28*.



Figura 19. PASO 0 manual.



Figura 20. PASO 1 manual.



Figura 21. PASO 2 manual.

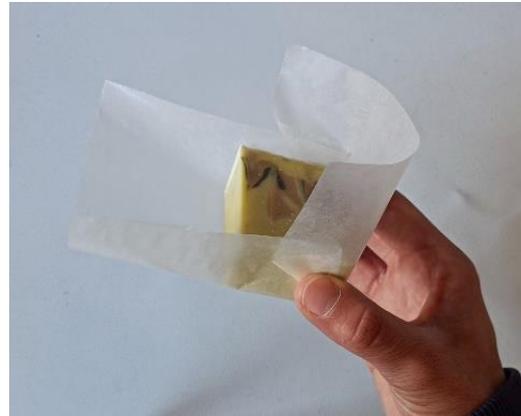


Figura 22. PASO 3 manual.



Figura 23. PASO 4 manual.



Figura 25. PASO 5 manual.



Figura 24. PASO 6 manual.



Figura 26. PASO 7 manual.

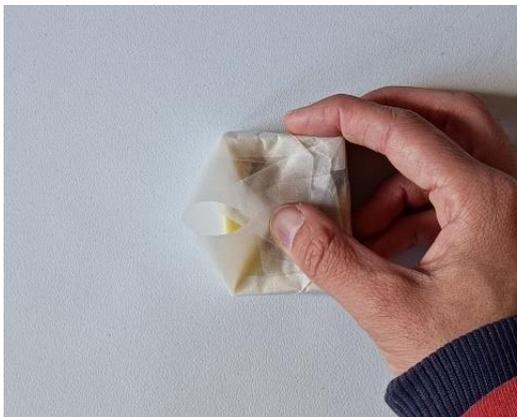


Figura 27. PASO 8 manual.



Figura 28. PASO 9 manual.

Capítulo 3: SOLUCIÓN TEÓRICA DE LA EJECUCIÓN DE MOVIMIENTOS

En los apartados a continuación, se explica detalladamente el proceso que se ha llevado a cabo en el desarrollo de un diseño mecánico teórico. Se plantea una posibilidad de realización de cada movimiento individual que ejecuta el plegado del papel envolviendo el jabón. Principalmente, tiene como fin ilustrar la dinámica perseguida en este proyecto.

En esta solución se ha tratado de resolver el problema planteando una a una las dobles que se deben realizar en el papel. Estos movimientos se han implementado con el uso de 5 motores paso a paso y 4 servomotores que mueven pequeños bloques y van empujando el papel para conseguir las dobles deseadas.

3.1. Simulación de la dinámica de movimientos

A continuación, se muestra una simulación de la secuencia de movimientos que se realizan.

Se parte de la posición inicial mostrada en la Figura 29. En las figuras siguientes (Figura 30 y Figura 31), se han ocultado elementos que no interfieren en los primeros movimientos, para que se pueda apreciar mejor la situación del papel y del jabón.

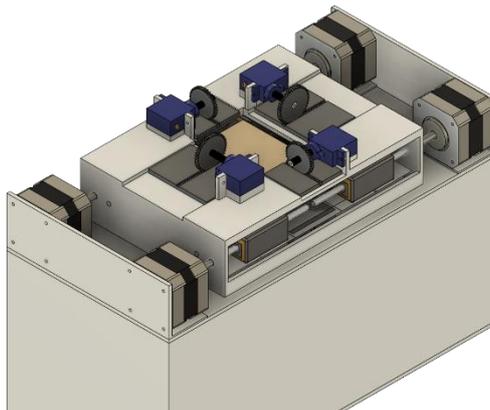


Figura 29. Posición inicial.

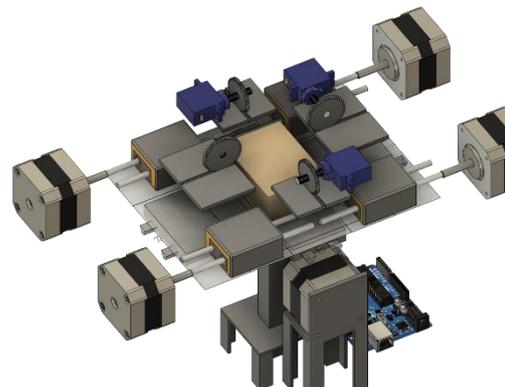


Figura 30. Posición inicial, ocultando la carcasa.

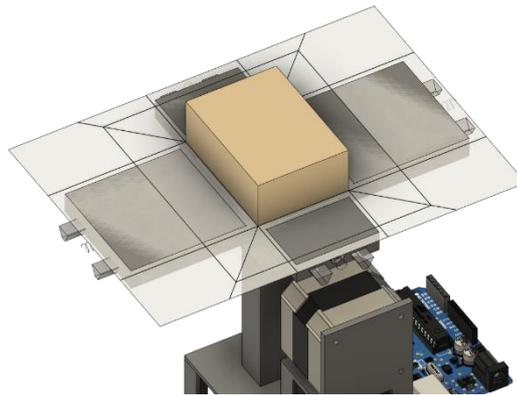


Figura 31. Posición inicial, ocultando elementos que no interfieren en los primeros pasos.

En la Figura 32 se indican los bloques que conforman el diseño. Se han numerado para facilitar las descripciones de movimientos.

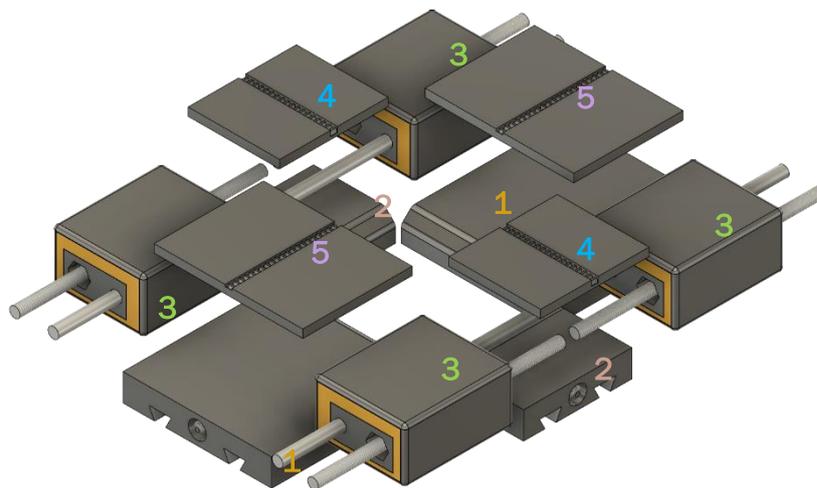


Figura 32. Numeración de bloques primera propuesta.

PASO 1

Mediante el motor paso a paso, la plataforma desciende 10 mm. Los *bloques 1 y 2* se desplazan sobre los raíles por la acción del peso del propio jabón. De esta forma, el dobléz se adapta al tamaño específico de la pastilla.

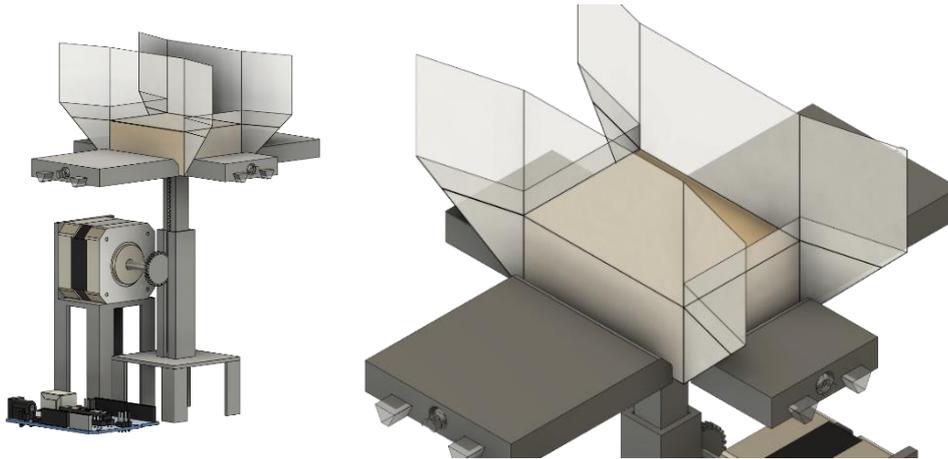


Figura 33. Paso 1 primera propuesta.

PASO 2

Los *bloques 3* se mueven a lo largo de la varilla guía de aluminio, accionados mediante motores paso a paso. Dichos motores hacen girar el husillo que mueve los bloques en la dirección definida.

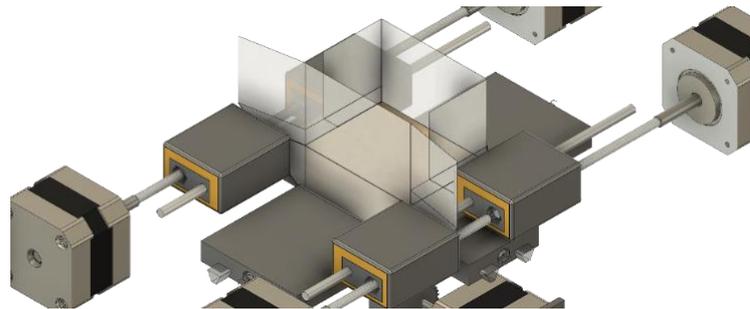


Figura 34. Paso 2 primera propuesta.

PASO 3

Se repiten los mismos movimientos que en el paso 2, para los dos *bloques 3* opuestos.

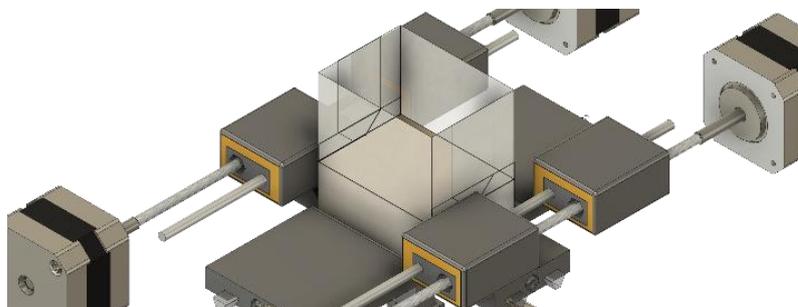


Figura 35. Paso 3 primera propuesta.

PASO 4

La plataforma asciende 15 mm para quedar al nivel de los bloques que realizarán los pliegues siguientes.

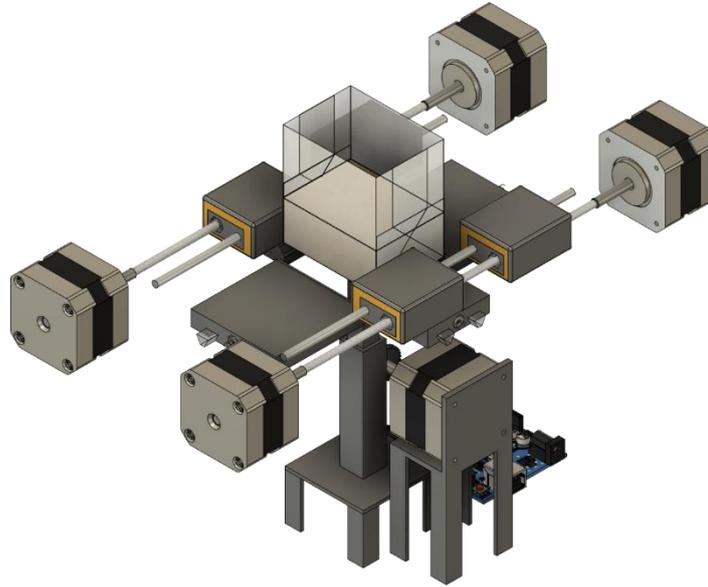


Figura 36. Paso 4 primera propuesta.

PASO 5

Mediante un servomotor, se desplaza el *bloque 4* a lo largo del raíl fabricado en la propia caja. Este bloque tiene grabado un engranaje lineal, al que se transmite el movimiento.

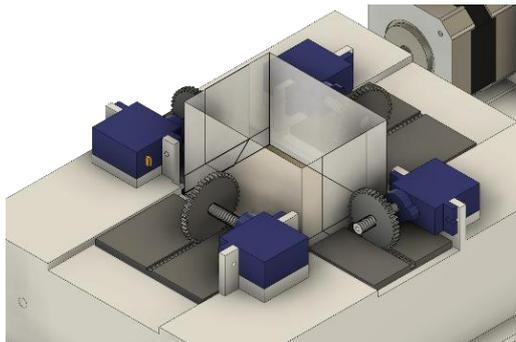


Figura 37. Posición anterior al paso 5, mostrando todos los elementos y la caja envolvente.

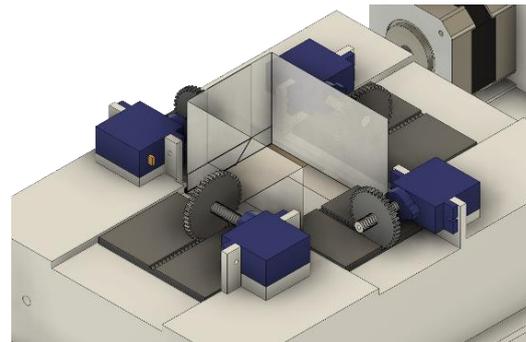


Figura 38. Paso 5 primera propuesta.

PASO 6

Se trata del mismo movimiento que en el paso anterior, en el lado opuesto.

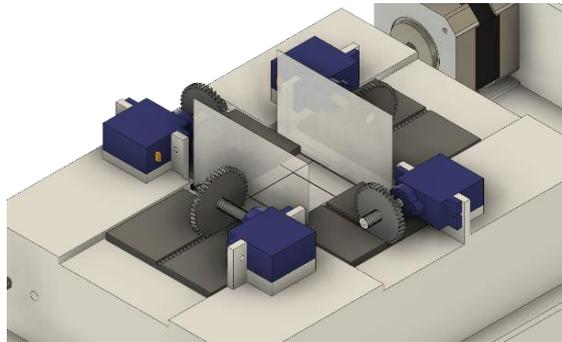


Figura 39. Paso 6 primera propuesta.

PASO 7

Los servomotores hacen retroceder los *bloques 4*, para que el espacio quede libre y puedan moverse los bloques restantes.

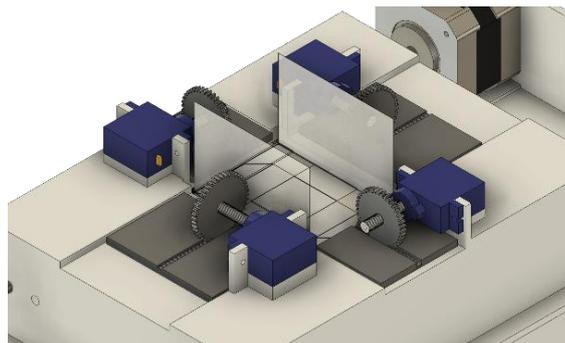


Figura 40. Paso 7 primera propuesta.

PASO 8

Se realiza el mismo movimiento que en los pasos 5 y 6 con un bloque de mayor tamaño (*bloque 5*), ya que esta dimensión del jabón es más larga.

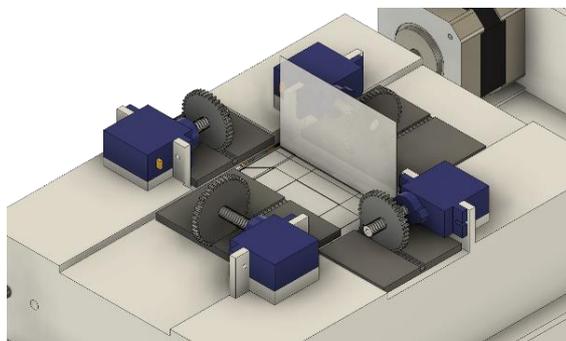


Figura 41. Paso 8 primera propuesta.

PASO 9

Se retira el bloque movido en el paso 8 del espacio central y se procede a realizar un desplazamiento similar al del paso anterior en el lado opuesto.

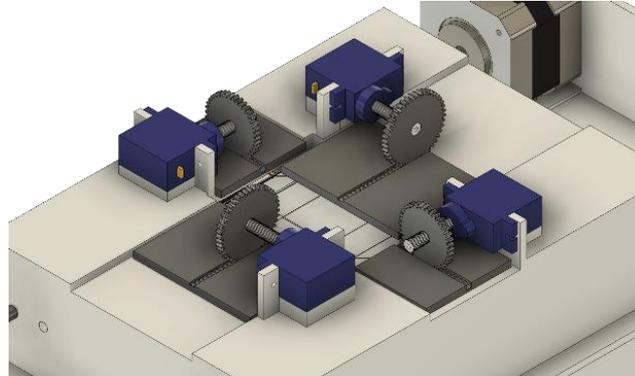


Figura 42. Paso 9 primera propuesta.

PASO 10

Retrocede el último *bloque 5*, dejando libre la parte superior de la pastilla de jabón. De esta manera, puede plantearse extraer el jabón envuelto por la parte superior, accionando el motor paso a paso y haciendo ascender la plataforma.

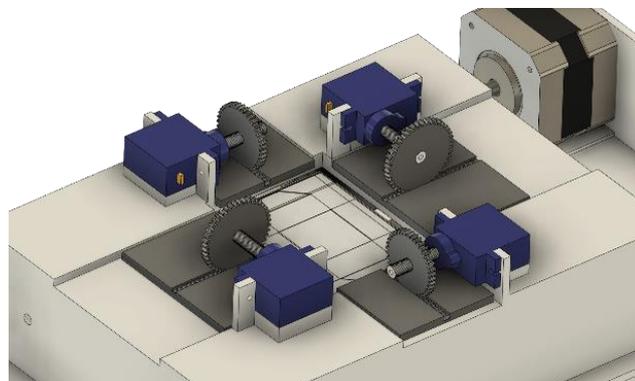


Figura 43. Paso 10 primera propuesta.

Cabe destacar que uno de los principales objetivos a tener en cuenta en este diseño, fue reducir la altura final de la maqueta. Para ello, se plantearon los pasos individualmente, sin tener en cuenta las interferencias que el papel tendría con otros bloques o con la propia envolvente. A partir de este planteamiento inicial, la idea era realizar físicamente la maqueta y establecer las distancias mínimas necesarias entre los niveles por los que pasa el jabón.

Como finalmente esta solución quedó descartada por varios motivos, no se llegaron a realizar las adaptaciones de altura y, para que resultara un prototipo funcional, sería necesario modificar el diseño en este aspecto.

3.2. Diseño mecánico

A continuación, se puede ver el resultado del diseño mecánico de esta solución:

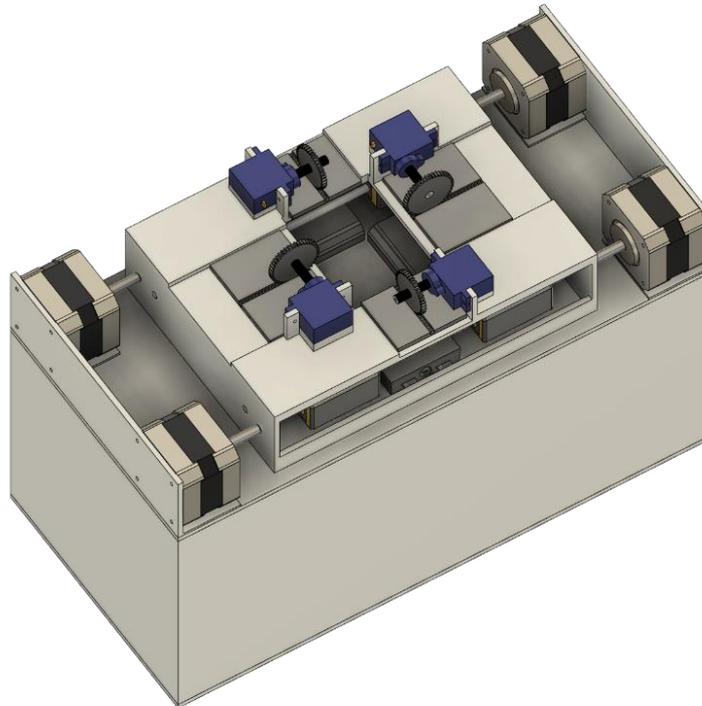


Figura 44. Solución 1. Diseño mecánico primera propuesta.

Mediante los muelles y las partes impresas con filamento flexible (TPU) se absorben las pequeñas variaciones de tamaño de la pastilla de jabón.

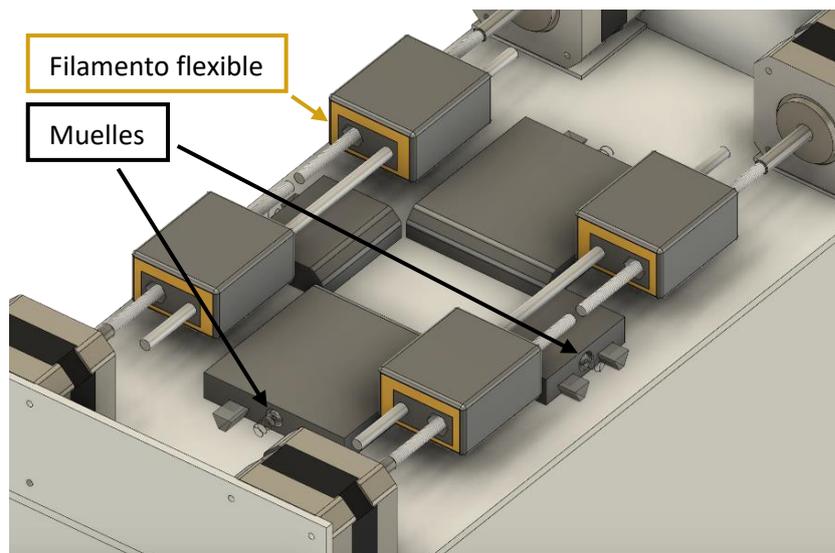


Figura 45. Solución 1. Detalle filamento flexible y muelles.

3.3. Estudio de viabilidad

Antes de proceder a realizar un montaje mecánico, es necesario estudiar la viabilidad de la solución propuesta.

En este caso, existe una idea de diseño, pero no un conjunto que sea capaz de ejecutar los movimientos de forma secuencial. El principal objetivo de este primer diseño era entender y analizar distintas formas de plegar un papel, haciendo uso de bloques sólidos accionados por pequeños motores. Se ha estudiado una forma teóricamente factible de ejecutar los pasos descritos en el apartado Análisis del funcionamiento deseado de forma aislada, proporcionando un ejemplo de envolvente y colocación de los bloques que sería necesario modificar si se desea fabricar una maqueta.

No se ha alcanzado el punto de obtener un diseño funcional porque la idea planteaba un claro inconveniente: el uso de un número excesivo de motores.

Como se ha dicho en diversas ocasiones, uno de los objetivos es conseguir un prototipo de bajo coste, realizable sin la necesidad de muchos componentes. En este caso, se ha creído posible reducir el número de motores. Así, también se simplifica el control y la electrónica del modelo.

Por lo descrito, la primera solución no ha sido validada para continuar con su diseño y construcción. Servirá, sin embargo, de orientación y base para la segunda propuesta que se describe a continuación.

Capítulo 4: SOLUCIÓN PARA LA FABRICACIÓN

En esta segunda propuesta se ha tratado de economizar movimientos, elaborando bloques con formas adecuadas para realizar las dobleces. De esta forma, se reduce el número de motores: 1 motor paso a paso y 4 servomotores.

El movimiento principal de este prototipo será en el eje vertical. Se ha intentado que el mayor número de pliegues posibles sean realizables solo con este movimiento.

4.1. Diseño mecánico

Como se dijo, el principal propósito de esta segunda solución es reducir el hardware necesario y conseguir un diseño más sencillo. En la Figura 46 se puede ver la idea del diseño, sujeta a posteriores modificaciones. Para apreciar los distintos bloques, en la Figura 47 se muestra el diseño sin la caja, numerando también los elementos a los que se hará mención en las descripciones.

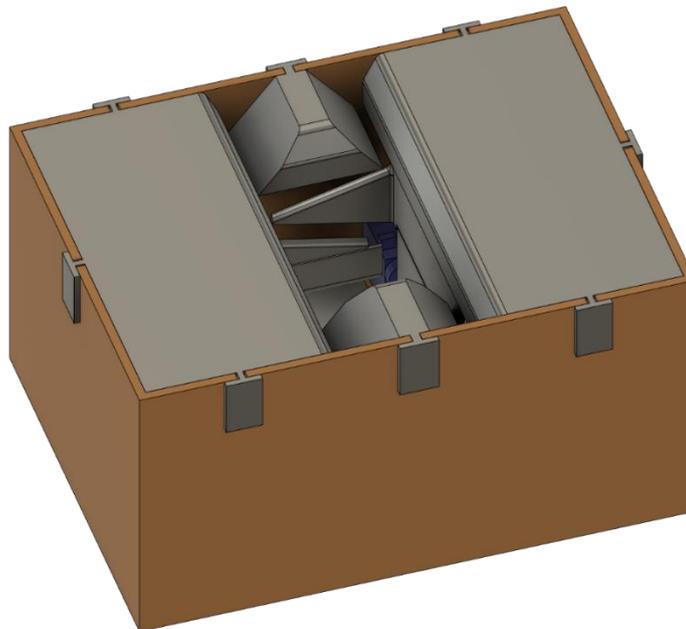


Figura 46. Diseño base segunda propuesta (con caja).

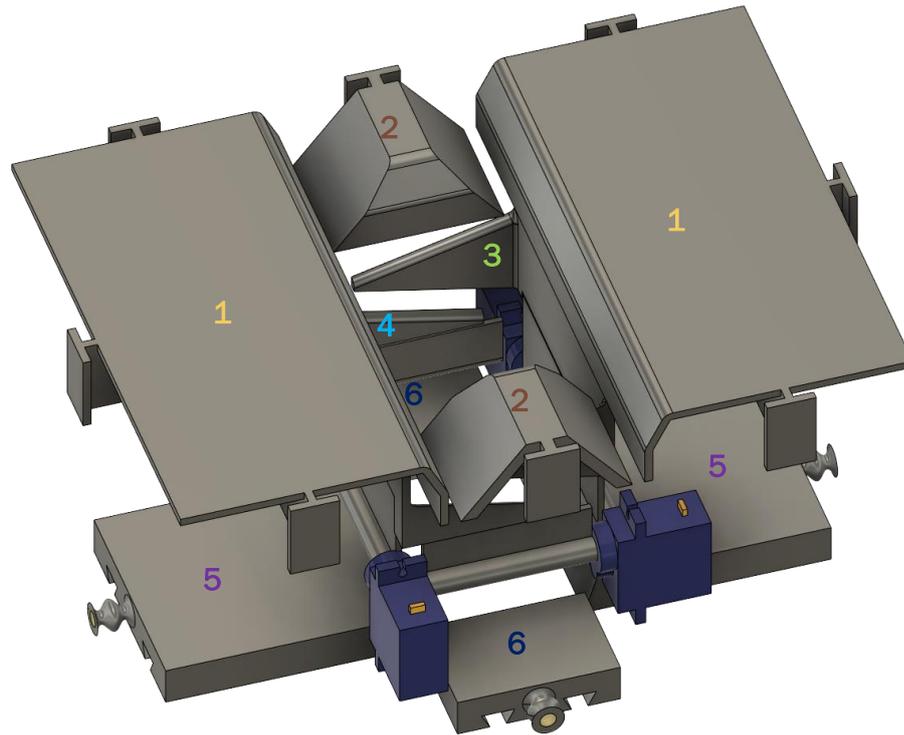


Figura 47. Diseño base segunda propuesta (sin mostrar caja)

Para realizar los distintos movimientos, no se sigue exactamente la secuencia manual descrita en la sección Análisis del funcionamiento deseado de esta memoria, sino que se han adaptado dichos pasos para optimizar el diseño mecánico del prototipo.

Los *bloques 1 y 2* se encargan de realizar los dobles correspondientes a los pasos 1 (Figura 20), 2 (Figura 21) y 6 (Figura 24).

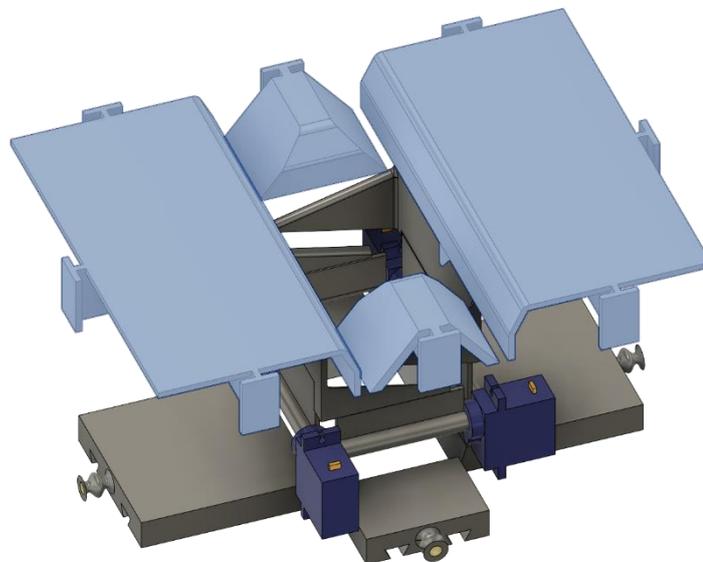


Figura 48. Pasos 1, 2 y 6 segunda propuesta.

El único motor que interfiere en este caso es el paso a paso destinado a bajar la plataforma en la que se encuentra el jabón. El sistema que se encargará de hacerlo se definirá en última instancia, cuando el resto del diseño sea válido.

En segundo lugar, la plataforma sigue bajando y se llevan a cabo los pasos 3 (Figura 22) y 7 (Figura 26). Los encargados de realizarlos son los bloques 3 y 4, remarcados en la Figura 49.

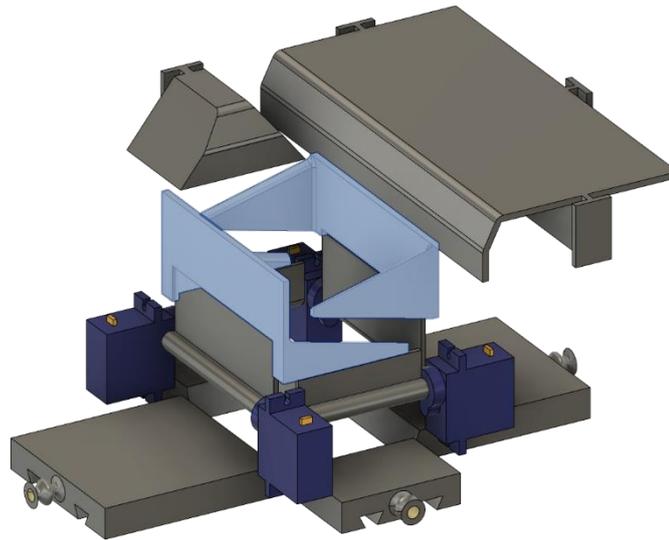


Figura 49. Pasos 3 y 7 segunda propuesta.

A continuación, se plantean varias posibilidades para llevar a cabo los últimos pasos: 4 (Figura 23), 5 (Figura 25), 8 (Figura 27) y 9 (Figura 28).

- Utilizando 4 servomotores encargados de mover una pequeña placa cada uno. Resultaría muy conveniente que el propio giro del motor sirviera para plegar el papel de la forma deseada, sin necesidad de transformarlo a movimiento lineal. El planteamiento más sencillo diseñado se puede ver en la Figura 50.

Este diseño no se llegó a fabricar porque se observó un posible problema. Cuando la pieza gira en el eje del servomotor, plegará el papel, pero no exactamente de la forma deseada. El objetivo es que quede en contacto con el jabón en todos los planos, pero se redondearía y no se doblaría regularmente. En la Figura 51 se ha representado, visto de perfil, el doblado que produciría esta pieza.

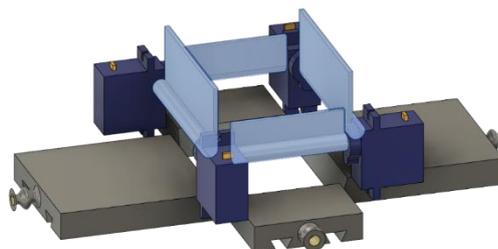


Figura 50. Pasos 4, 5, 8 y 9 segunda propuesta.

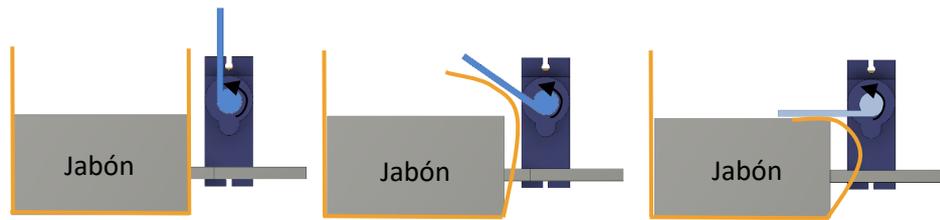


Figura 51. Secuencia de movimientos que doblan el papel de forma errónea.

- Mediante 4 piezas con forma de medio cilindro hueco y un contrapeso que las hace volver a su posición base una vez finalizada su función. De esta forma, no se utilizarían los servomotores. El jabón, al bajar, las haría girar sobre su eje.

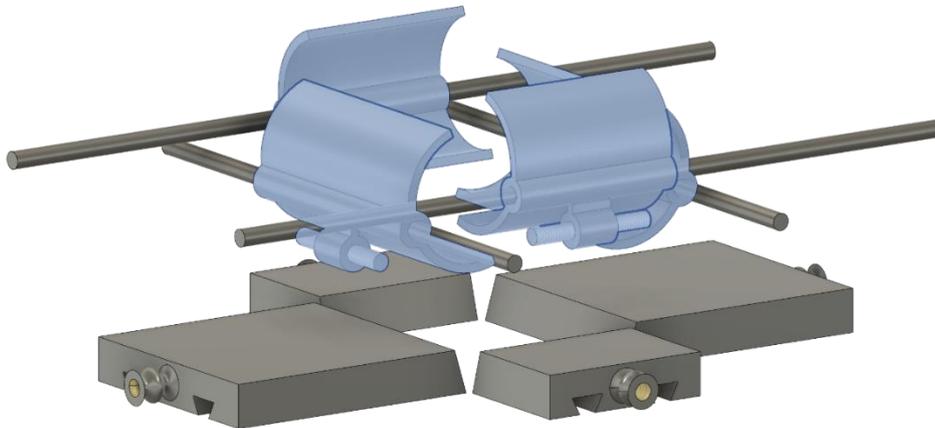


Figura 52. Pasos 4, 5, 8 y 9 sin servomotores segunda propuesta.

- Utilizando un mecanismo sencillo de engranajes para transformar el movimiento rotacional del servomotor en un desplazamiento lineal. La idea es similar a la desarrollada en la primera propuesta (ver Figura 38).

Por otro lado, se ha planteado dejar el sistema de los bloques que se mueven a lo largo de raíles explicado anteriormente (ver Figura 33), para ajustar así los dobleces de la parte inferior del jabón, antes de realizar los últimos pasos (4, 5, 8 y 9). De esta forma se compensarían las pequeñas diferencias de tamaño entre las distintas pastillas de jabón.

A lo largo de la etapa de maquetación, se evaluará si resulta conveniente fabricar estos bloques.

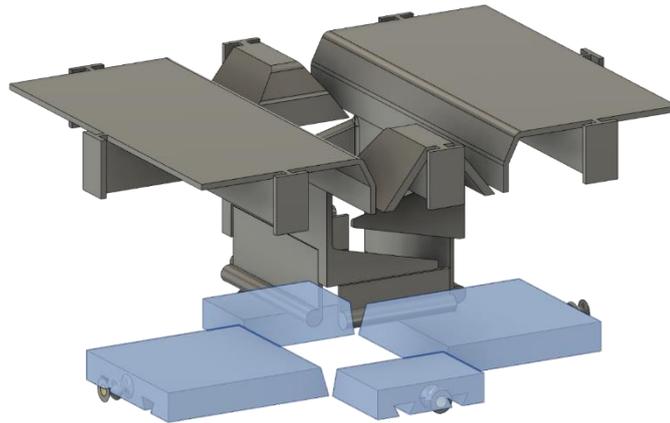


Figura 53. Ajuste de dobleces segunda propuesta.

4.1.1. Proceso de maquetación

Después de realizar este planteamiento de diseño, se ha procedido a realizar maquetas para simular la función de cada elemento, y comprobar si la realiza correctamente o si hay que efectuar modificaciones. En este apartado del documento, se detallarán las decisiones mecánicas tomadas, en función del comportamiento de los elementos en un entorno real. También se justificarán los pequeños cambios llevados a cabo.

Realizando los primeros movimientos, se ha observado que el espacio entre los *bloques 2 y 3* era demasiado reducido para que el papel pasara entre ellos sin arrugarse o romperse.

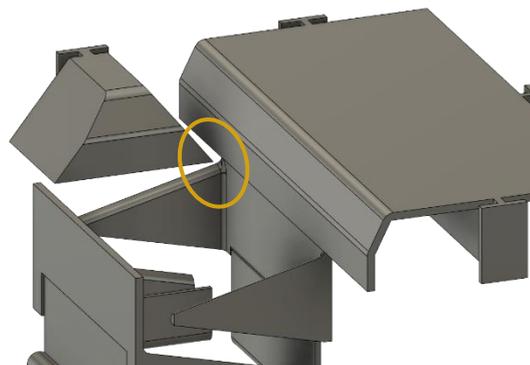


Figura 54. Espacio insuficiente entre los bloques 2 y 3 segunda propuesta.

Para solucionarlo, se ha reducido la altura del *bloque 2* a la mitad, ya que esto no afecta a su funcionamiento, y se ha eliminado material innecesario del bloque que dificultaba el plegado correcto del papel.

Por otro lado, para reducir el tiempo de las impresiones 3D, se ha reducido el material del *bloque 1*. El resultado puede verse en la Figura 55.

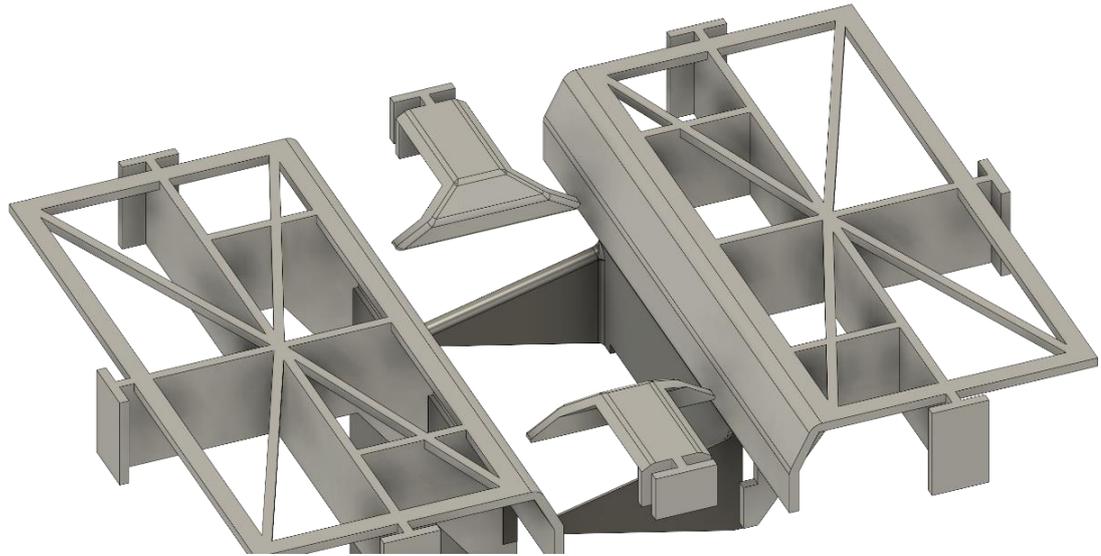


Figura 55. Solución: modificación del bloque 2. Bloque 1 optimizado.

En segundo lugar, se ha detectado que el ángulo que forma el bloque 3 con el plano horizontal es demasiado pequeño y el papel no se dobla de la forma deseada.

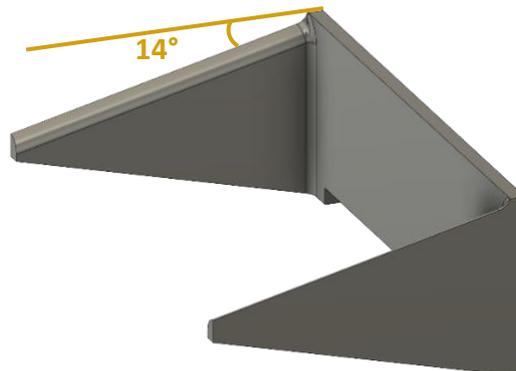


Figura 56. Situación inicial diseñada, 14°.

Se han realizado pruebas prácticas y el menor ángulo para el que se ha obtenido un resultado satisfactorio ha sido de 50°. Se han modificado los *bloques 3 y 4* teniendo en cuenta este nuevo dato, y tratando también de reducir el material. Además, una parte del cuerpo se realizará con madera MDF de 3 mm de espesor, aprovechando el material de la caja exterior.

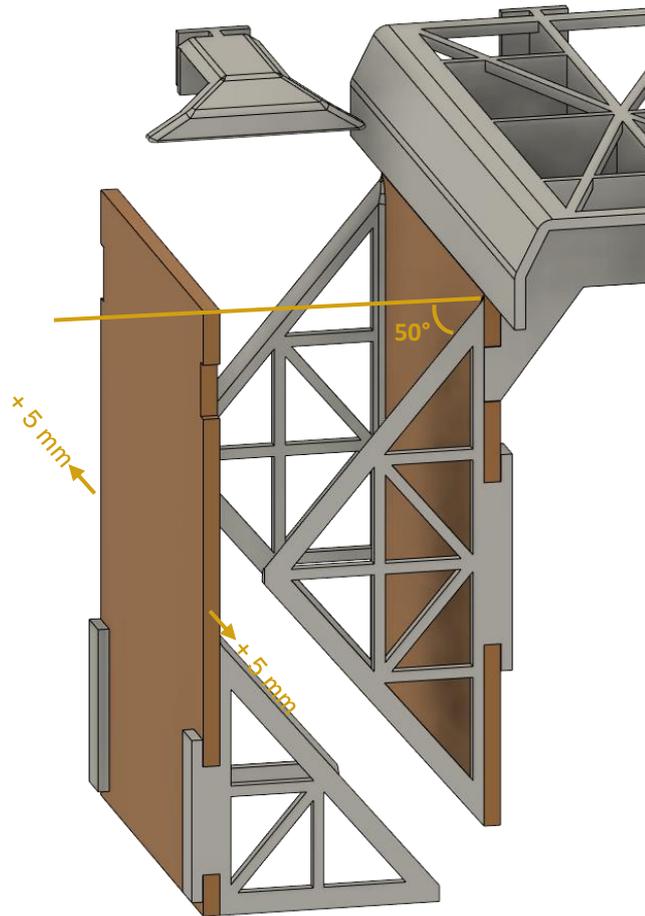


Figura 57. Bloques 3 y 4 modificados, 50°.

También ha sido necesario aumentar el espacio entre las dos piezas impresas en 3D (espacio por el que pasa el jabón). Inicialmente se había planteado dejar la misma cota que la existente entre los *bloques 2*, pero como las dobleces que realizan son más pronunciadas, el roce es mayor y el peso del jabón no es suficiente para descender por el hueco. Se ha modificado dicho espacio añadiendo 5 mm a cada lado. Se puede ver indicado en la Figura 57.

Para poder probar el funcionamiento del diseño planteado y realizar los ajustes que sean necesarios, se ha procedido a diseñar el mecanismo de elevación. Debe ser un sistema capaz de mover verticalmente la pastilla de jabón una distancia de aproximadamente 30 mm (la distancia exacta se concretará cuando esté realizado el diseño completo).

Los sistemas de elevación más comunes constan de un eje vertical sobre el que se desliza el elemento móvil. Esta solución no es posible en el modelo, ya que el eje interferiría con el papel de envoltorio. Se han planteado dos posibilidades:

- Mesa elevadora de tijera accionada con un motor paso a paso.
- Mecanismo de elevación telescópica.

4.1.1.1. Mesa elevadora de tijera accionada con un motor paso a paso.

Para subir la altura necesaria con una plataforma pequeña (las dimensiones no pueden superar las del jabón) serán necesarios muchos eslabones. El cálculo del aumento de altura que proporciona cada par de eslabones se puede consultar en los ANEXOS de esta memoria (ver Cálculos de diseño de la plataforma elevadora de tijera). Esto puede provocar que, debido a pequeñas irregularidades en la fabricación, el movimiento acumulado de todos los eslabones sea menos preciso.



Figura 58. Mesa elevadora de tijera.

4.1.1.2. Mecanismo de elevación telescópica.

Esta segunda opción consta de tres piezas concéntricas roscadas. Accionadas por un motor paso a paso, irán moviéndose consecutivamente. Para que la pieza de la parte superior mantenga siempre la misma orientación tendrá unas guías laterales.

En primer lugar, se ha llevado a cabo la elección del motor paso a paso más acorde a la aplicación. Se han presentado 5 posibles opciones y se han testeado para comprobar su correcto funcionamiento y la ubicación de las bobinas y conectores (ver Anexo: Pruebas experimentales a los motores paso a paso).

El motor seleccionado es el modelo STH-46D004. Se encargará de accionar la pieza inferior del elevador telescópico. Cuando ésta llega a su posición más alta o baja, si está ascendiendo o descendiendo respectivamente, pasará a transmitir el movimiento al siguiente eslabón.

En la Figura 59 puede verse el diseño planteado.

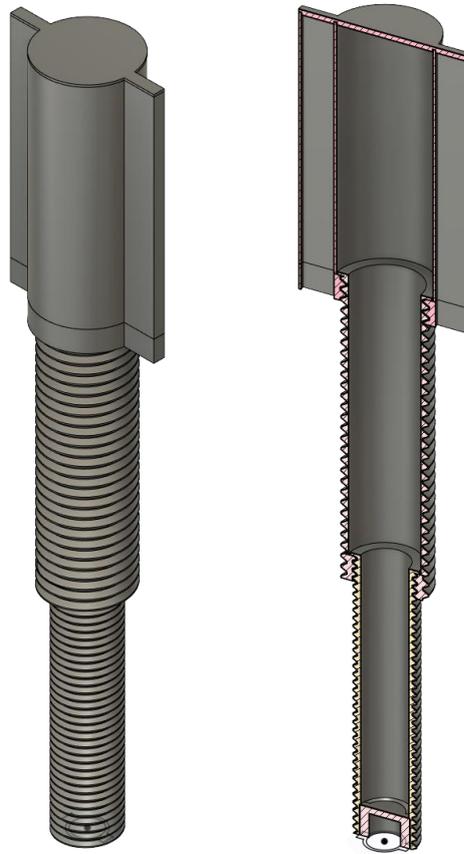


Figura 59. Elevador telescópico. Sección.

Tras la impresión en 3D de este elevador telescópico, se realizaron una serie de pruebas experimentales para comprobar si las primeras dobleces del papel quedaban correctamente realizadas. Estas pruebas han resultado útiles para realizar pequeñas modificaciones tanto en la estructura que realiza los pliegues como en el propio elevador.

Por un lado, se ha detectado un fallo de diseño en el eslabón inferior del mecanismo telescópico. Cuando el motor actúa bajando el elevador, el eslabón mencionado no cuenta con un tope que impida que el giro continúe sin transmitirlo al siguiente eslabón (Figura 60). De esta forma, la rosca termina y queda suelto. En el esquema de la Figura 61 se ha representado la problemática.

La solución planteada ha sido añadir un anillo de mayor diámetro en la parte inferior para interrumpir el roscado. De esta forma, cuando el eslabón inferior ha llegado a su extremo, bloquea la rosca del segundo segmento y hace que gire solidariamente a él. El diseño se muestra en la Figura 62.

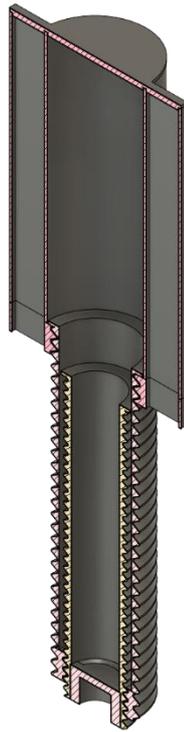


Figura 60. Posición de fallo en el elevador telescópico.

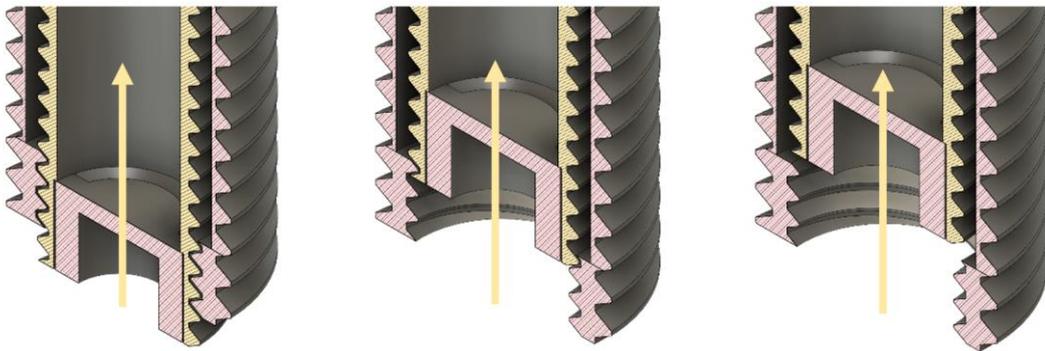


Figura 61. Secuencia de movimientos problemáticos en el descenso.

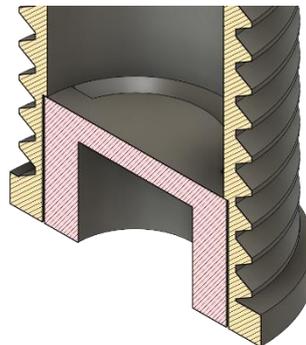


Figura 62. Solución adoptada de anillo.

Otro detalle percibido en el diseño que puede producir efectos no deseados es la diferencia de roscas entre los dos eslabones inferiores. El proceso de creación de una rosca mediante *Fusion 360°* se realiza en base a una superficie cilíndrica con un determinado diámetro. A continuación, se especifica la norma según la que se quiere construir la rosca y se extruye la superficie creando la forma deseada. El paso de la rosca queda predefinido en función del diámetro y la norma.

Esta diferencia entre pasos conlleva un cambio de velocidad de ascenso y descenso de la plataforma al girar el primer o segundo eslabón, aunque el motor paso a paso gira a velocidad constante.

Para corregirlo, se ha rediseñado el tercer eslabón y la parte inferior del segundo (sobra la que roscará el modelo corregido). El resultado deseado se ha conseguido creando una rosca con el mismo diámetro que la del eslabón 2 y escalando el bloque en los ejes X e Y. De esta manera, se ha reducido el diámetro sin cambiar el paso.



Figura 63. Rosca de paso menor.



Figura 64. Rosca corregida, paso igual que la del eslabón 2.

4.1.1.3. Modificaciones consecuentes del elevador telescópico en el resto de los bloques

Por otro lado, en cuanto a la estructura, se han modificado los bloques 1, 3 y 4. Se ha realizado una guía por la que discurre el elevador telescópico, permitiendo mantener su orientación fija en todo momento. El resultado puede verse en la Figura 65.

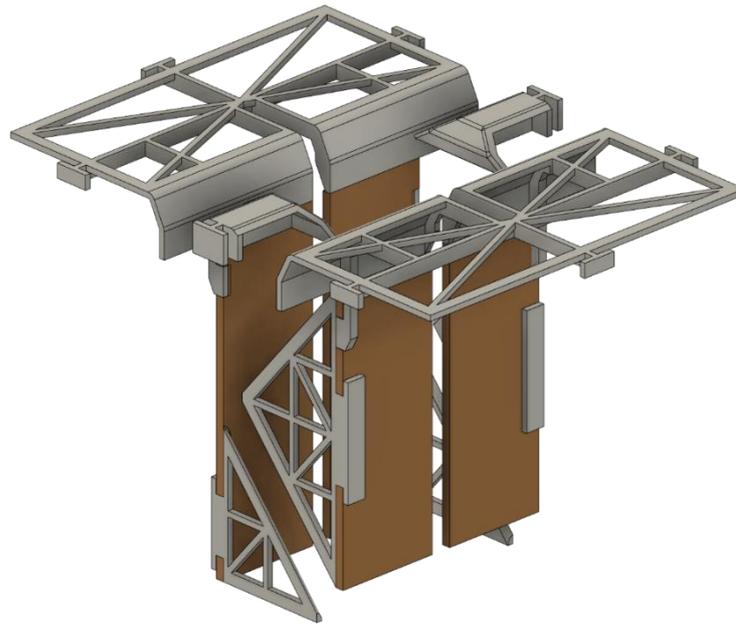


Figura 65. Implementación de guías laterales en los bloques 1, 3 y 4.

Aprovechando el nuevo diseño del *bloque 1*, se han incluido modificaciones adicionales. Se ha reducido el material disminuyendo la altura de los nervios, como se ha indicado en la Figura 66. También se han reforzado las partes que soportan las piezas verticales de madera para conseguir mayor rigidez.

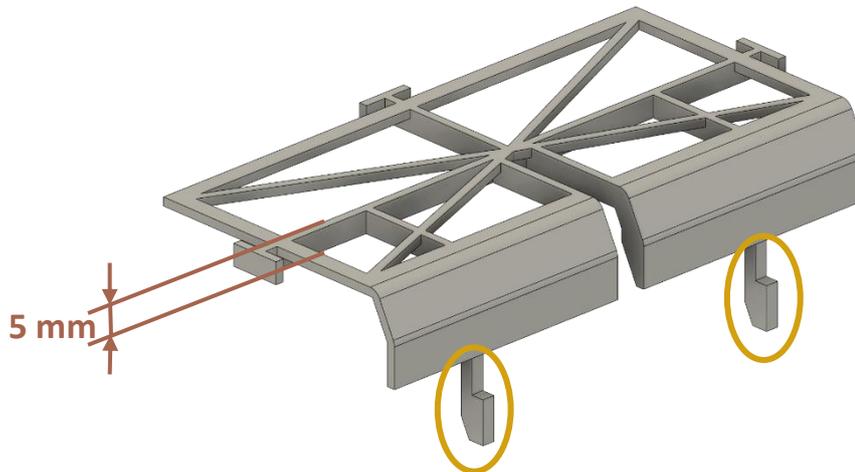


Figura 66. Modificaciones adicionales bloque 1.

Además, se ha modificado el diseño de los *bloques 3 y 4* ligeramente, aportando un margen para ajustar la distancia del canal por el que desciende el jabón. Se tratará de encontrar el punto medio que permita que el jabón descienda sin quedar atascado con el roce del papel en las piezas y que los dobleces queden lo más ajustados a la pastilla posible. En la Figura 67 se indican los cambios realizados en la parte de madera. También se ha incrementado el ancho de la ranura donde se encaja al *bloque 1*. Como se comentó antes, se ha reforzado este punto añadiendo 1 mm de anchura, que repercute por consiguiente en estos *bloques 3 y 4*. Por último, se ha tenido en cuenta que, cuando la plataforma de elevación se mueve de forma ascendente, puede

interferir con el inicio del raíl de estos bloques. Para solucionarlo, se han añadido unos pequeños chaflanes.

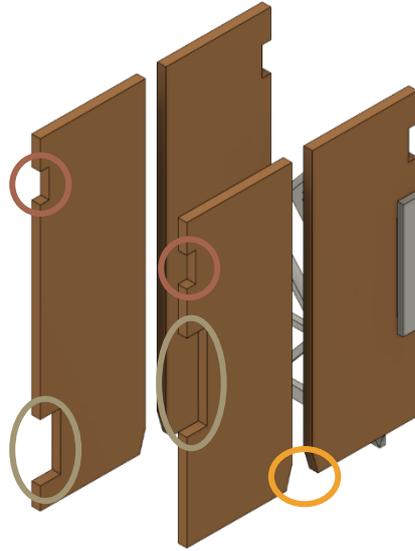


Figura 67. Modificaciones bloques 3 y 4.

4.1.1.4. Preprocesado del papel

Poniendo a prueba las modificaciones anteriores y utilizando el elevador telescópico, se ha percibido un problema que tiene lugar en algunas ocasiones. Se han producido casos en los que el papel se dobla por un lugar que no corresponde, ofreciendo demasiada resistencia e impidiendo que el jabón haga su recorrido de descenso. Esta situación ha ocurrido cuando el papel tiene alguna pequeña imperfección, como marcas o dobleces.

Para solucionarlo se han llevado a cabo dos medidas:

5. Se ha reducido el tamaño del papel, comprobando que el jabón queda correctamente envuelto con una medida menor. En este caso, se ha evolucionado de un papel de 125 x 175 mm² a uno de 120 x 155 mm².
6. Se ha diseñado un marcador de las dobleces del papel. Para ello, se han tenido en cuenta las dimensiones de un jabón medio (Figura 3). El objetivo es facilitar la tendencia del papel a plegarse en las direcciones adecuadas, no marcar con precisión el doblez definitivo. El funcionamiento consiste en prensar ligeramente el papel sobre el molde, hasta que queden marcados los pliegues.

El primer diseño llevado a cabo puede verse en la Figura 68. En este caso, la superficie de contacto con el jabón es redondeada y se ha comprobado experimentalmente que hay que ejercer demasiada presión para conseguir marcar el papel. Por ello, se ha diseñado una segunda versión con acabado en canto vivo, que sí estampa fácilmente los pliegues (Figura 69). Para ahorrar material y tiempo de impresión, se fabricará en PLA solamente la

parte mostrada en la Figura 70. La base se realizará con madera, consiguiendo además mayor rigidez.

En la Figura 71 se pueden ver las dos versiones mencionadas impresas en 3D.

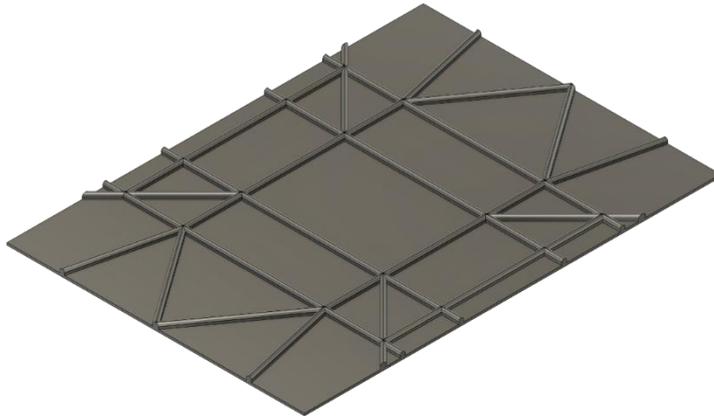


Figura 68. Primera versión del marcador de pliegues (canto redondeado).

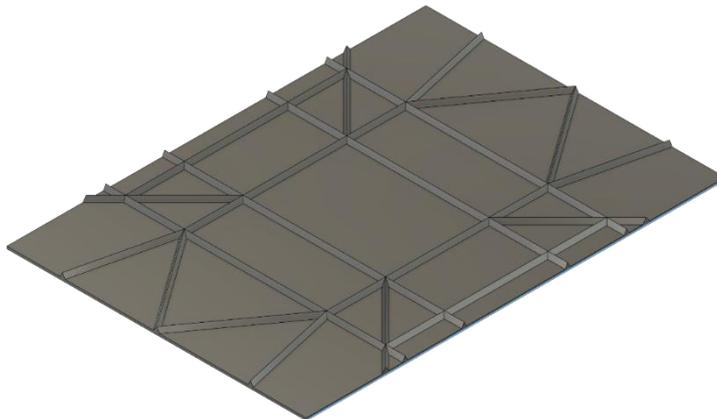


Figura 69. Segunda versión del marcador de pliegues (canto vivo).

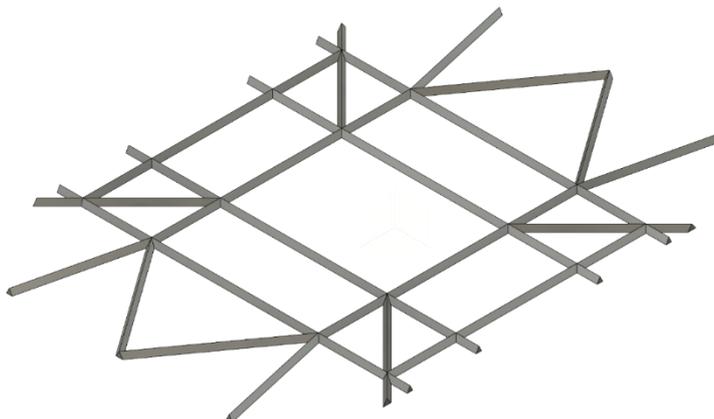


Figura 70. Diseño para impresión 3D del marcador de pliegues.

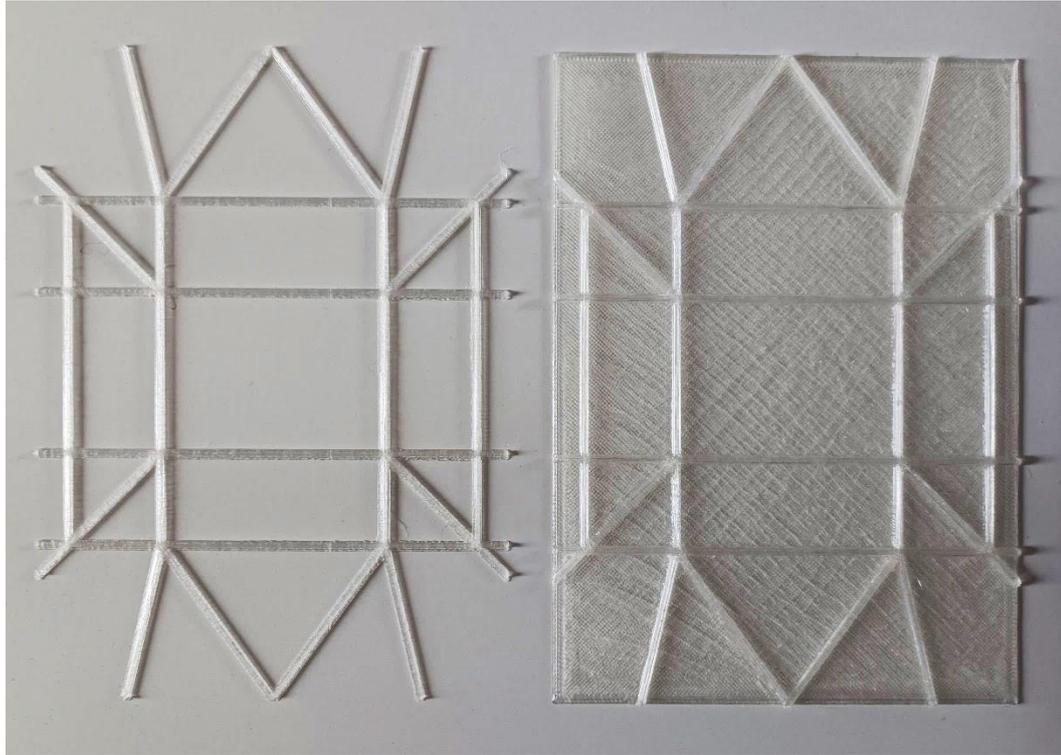


Figura 71. Modelos impresos en 3D.

4.1.1.5. Desarrollo de los últimos pasos

Por último, se han diseñado los últimos pasos que concluyen el proceso de pliegues del papel. Coinciden con los pasos manuales 4, 5, 8 y 9, indicados previamente en la Figura 23, Figura 25, Figura 27 y Figura 28 respectivamente.

Inicialmente, se plantearon tres posibilidades distintas (ver pág. 45). Dos de ellas han sido desarrolladas y se detallan a continuación:

- Utilizando 4 servomotores encargados de mover una pequeña placa cada uno

Se ha desarrollado un diseño (Figura 72) modificando la idea inicial para evitar la problemática analizada anteriormente acerca del plegado incorrecto del papel sobre el jabón. En la figura se ha indicado el sentido de giro de los motores. El objetivo es conseguir que las piezas laterales (las de menor tamaño), mediante este giro, arrastren el papel plegándolo de forma ajustada al jabón. Para que sean flexibles, se han impreso en 3D con un material llamado TPU.

Las otras dos piezas restantes completan el proceso. También se han hecho de TPU para poder girar el servo algo más de 90° y conseguir marcar bien el último doblez.

Los motores van fijados sobre unas guías que a su vez se sujetan en la propia caja envolvente.

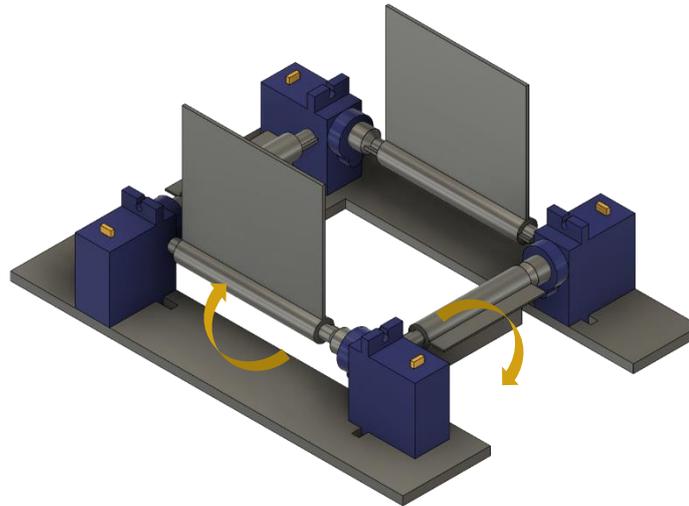


Figura 72. Diseño opción 1 del desarrollo de los últimos pliegues.

Tras realizar una maqueta del diseño planteado, los resultados obtenidos no han sido satisfactorios. Serían necesarias muchas iteraciones para ajustar los distintos parámetros a los que atañen: distancia entre las piezas móviles y los jabones, separación entre servos, grosor de las piezas de TPU para conseguir un producto suficientemente flexible y resistente, etc.

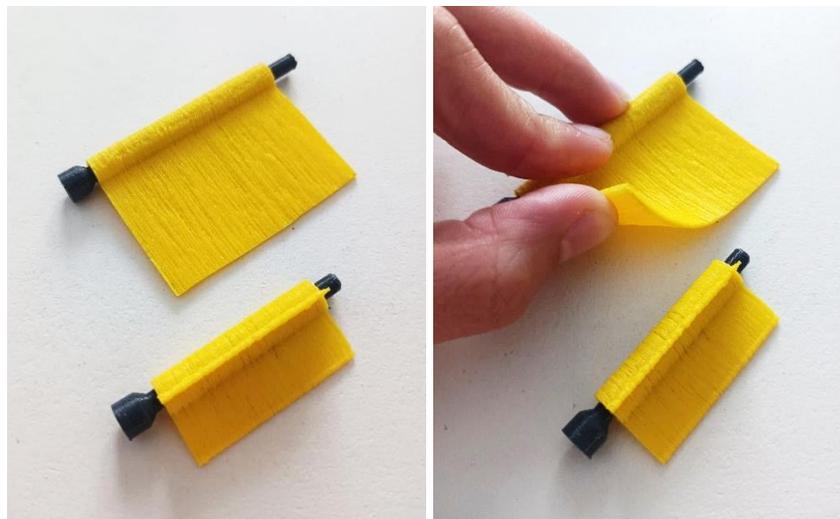


Figura 73. Piezas impresas en filamento flexible TPU.

Por ello, se ha decidido desarrollar otra de las opciones de diseño a continuación.

- Utilizando un mecanismo sencillo de engranajes para transformar el movimiento rotacional del servomotor en un desplazamiento lineal

Se han diseñado unas pequeñas plataformas que se deslizarán sobre el jabón doblando el papel sobre el mismo.

En la Figura 74 se muestra el diseño. Las piezas laterales de menor tamaño están colocadas a la misma altura y realizarán el movimiento a la vez. Las otras dos de mayor tamaño están ubicadas ligeramente más arriba. Entre ellas la altura no es similar.

Tras moverse hacia el centro las dos plataformas pequeñas simultáneamente, continúa el movimiento secuencial de la tercera y cuarta plataforma. De esta forma quedan superpuestas, manteniendo los dobleces en el lugar que les corresponde.

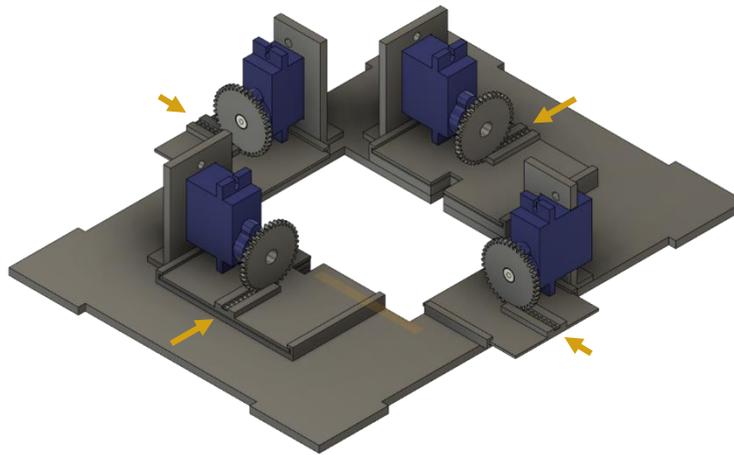


Figura 74. Diseño opción 2 del desarrollo de los últimos pliegues.

Una vez fabricadas las piezas, se han llevado a cabo las siguientes correcciones para mejorar su funcionamiento:

- Por un lado, las esquinas de las piezas móviles en ocasiones han roto el papel. Para eliminar este problema se ha decidido hacerlas redondeadas.
- Por otro lado, el módulo del engranaje es demasiado pequeño y se puede dar la situación de que se produzca un deslizamiento entre los dos piñones adyacentes y la plataforma no se mueva lo suficiente. Se ha aumentado a un módulo de 1.25 mm, y se ha incrementado también el ángulo de presión a 30°.

El nuevo engranaje tiene ligeramente mayor diámetro que el diseñado originalmente, hecho que debe tenerse en cuenta a la hora de colocar los soportes de los servos (se deben elevar 1.5 mm).

- También ha sido necesario realizar pequeñas aberturas en la caja para que no interfiera con el movimiento de las piezas.

En la Figura 75 puede verse el nuevo diseño de piezas y engranajes.

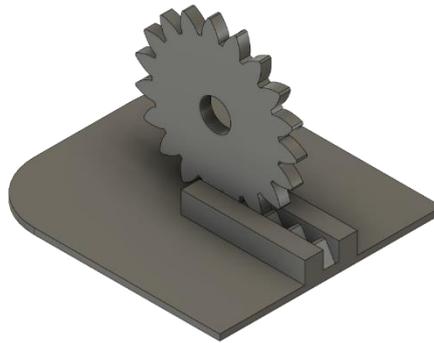


Figura 75. Modificaciones plataforma y engranajes.

Por último, se han diseñado dos piezas que irán colocadas por debajo de la responsable de realizar los últimos dobleces. La primera de estas piezas es necesaria para mantener los primeros pliegues del papel durante la ejecución de los últimos cuatro movimientos gobernados por los servomotores. La segunda se encarga de guiar la plataforma elevadora hasta su posición más baja. También ayudan a reducir los movimientos en direcciones no deseadas de la guía, debidos habitualmente a holguras entre las roscas.

Ambas piezas tienen un área ligeramente superior a la del jabón, para que pueda pasar por su interior sin quedar atorado. En la Figura 76 y la Figura 77 se puede ver el diseño realizado y el ensamblaje en el conjunto.

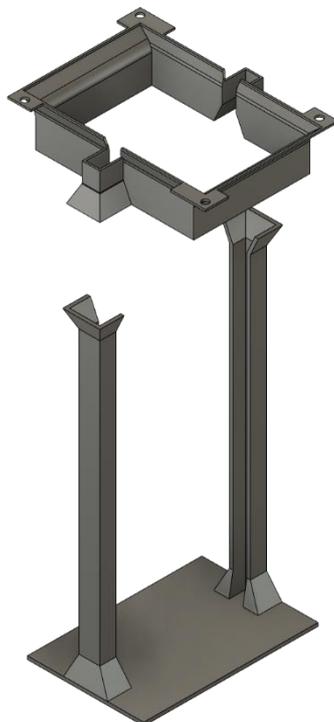


Figura 76. Diseño de las guías inferiores.

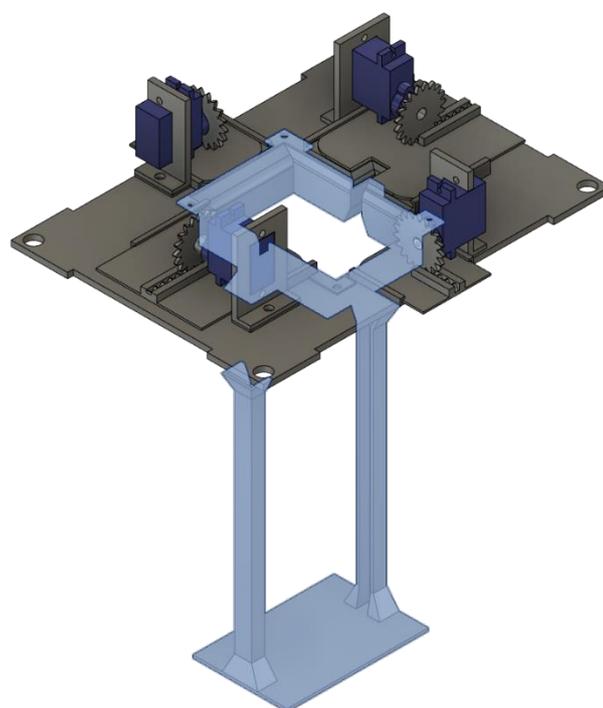


Figura 77. Ubicación de las guías inferiores en el conjunto.

4.1.1.6. Estructura de la maqueta prototipada

Para llevar a cabo el proceso de diseño, ha sido fundamental la elaboración material de cada parte o bloque que interfiere en el proceso. De esta forma, se han podido ir corrigiendo los distintos problemas que difícilmente se podían predecir en la fase de diseño teórico.

El desarrollo planteado a lo largo de este apartado de diseño mecánico se ha efectuado en una estructura tipo caja, realizada en madera MDF. En la Figura 78 se puede ver el diseño final de esta maqueta y en la Figura 79 su realización.

A continuación, los pasos que procede realizar en este proyecto son de ajuste más preciso. Se deben limitar los ángulos de giro de los servomotores, controlar los puntos de parada del mecanismo de elevación, y eliminar las posibles interferencias mecánicas que pueden surgir al efectuar el proceso completo de plegado del papel. Para cumplir satisfactoriamente estos objetivos, la estructura planteada de madera presenta una clara dificultad, resulta difícil montarla y desmontarla cuando hay que aplicar cambios, y no permite ver lo que ocurre en su interior, al tratarse de un material completamente opaco.

Es el momento, por lo tanto, de adoptar una nueva idea de estructura para la maqueta. Las candidatas perfectas son las varillas roscadas, que permiten dotar de rigidez al conjunto, dejándolo completamente accesible durante esta fase de prototipado. Resulta apropiado separar completamente la función estructural de la función envolvente. Esta última se llevará a cabo en fases futuras del proyecto.

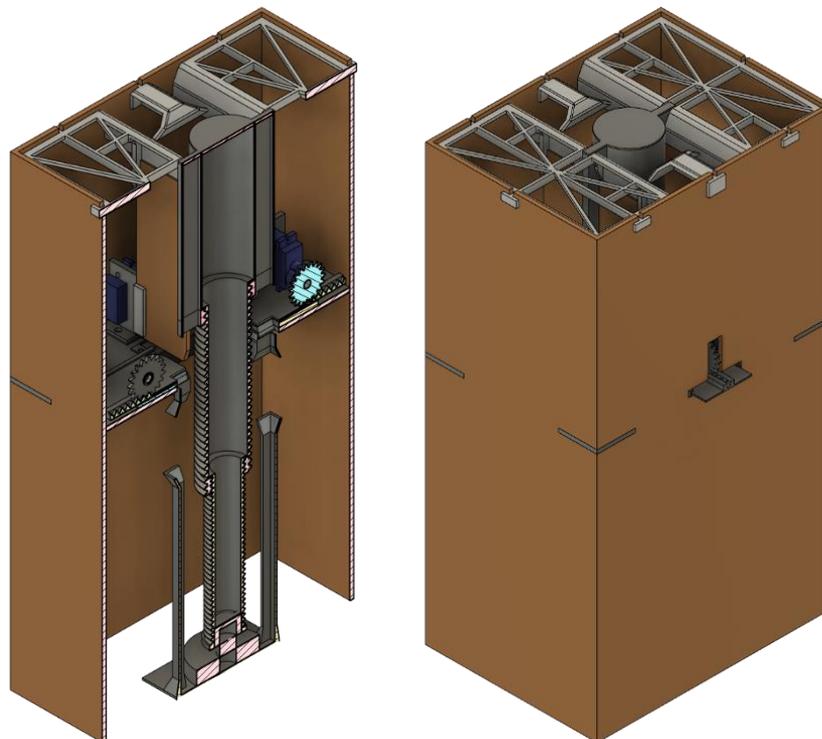


Figura 78. Estructura de madera MDF tipo caja.



Figura 79. Maqueta con caja de madera MDF.

Para llevar a cabo el nuevo modelo de estructura, se ha comenzado por diseñarla en el programa Fusion 360°.

En primer lugar, se han dimensionado las varillas de acero que permitirán mantener estable el conjunto. Para los apoyos verticales se utilizará un diámetro mayor, M8, y para las transversales, utilizadas en la parte superior, se ha elegido M4, ya que no soportan apenas peso. El elemento de unión entre las varillas en las esquinas superiores de la estructura se ha diseñado para imprimir en 3D. Se trata de un enlace entre dos varillas M4 y una M8. El resultado de este diseño puede verse en la Figura 80.



Figura 80. Estructura de varillas de acero.

En segundo lugar, ha sido necesario modificar los diseños de los *bloques 1 y 2*, para adaptar las sujeciones a la estructura.

Por un lado, al bloque 1 se le han añadido huecos cilíndricos por los que pasarán las varillas transversales de diámetro 4 mm. Además, los propios elementos de unión que enlazan las varillas cumplen una función de soporte para este bloque. En la Figura 81 se pueden apreciar las modificaciones realizadas.

De la misma forma, el bloque 2 se ha visto modificado para adaptarse a la estructura. En este caso, han sido necesarias dos varillas que fijen la posición sin permitir que rote. En caso de poner una sola, la pieza giraría sobre la propia varilla. Además, se han añadido tuercas M4 para fijar la posición en el centro de la varilla. Estos cambios se ven representados en la Figura 82.



Figura 81. Modificaciones en el bloque 1 para la estructura de varillas.

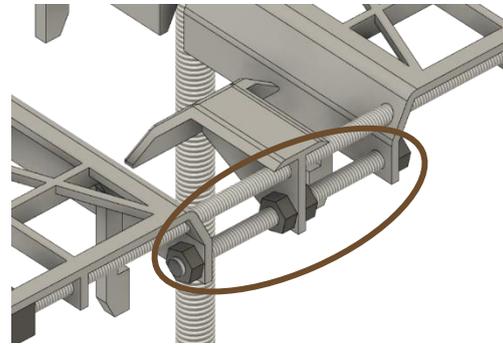


Figura 82. Modificaciones en el bloque 2 para la estructura de varillas.

A continuación, se ha planteado la inclusión del conjunto que realiza los últimos movimientos de plegado del papel. En este caso, solamente ha sido necesario realizar taladros de diámetro 8 mm para que las varillas atraviesen la placa de madera. Para fijar la altura, se han colocado tuercas M8 y sus correspondientes arandelas. El montaje se puede ver en la Figura 83.

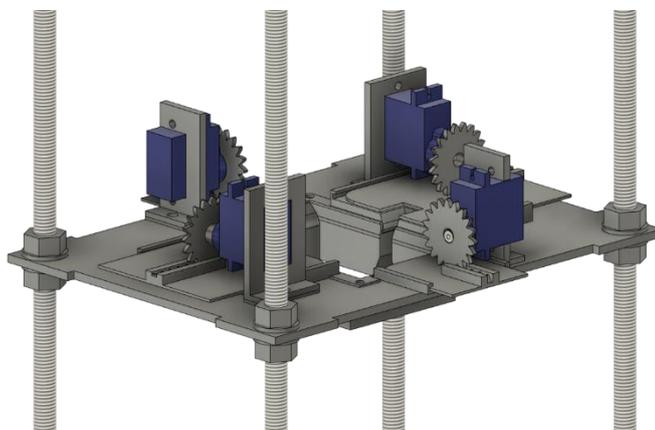


Figura 83. Modificaciones del conjunto del último paso para la estructura de varillas.

Por último, se ha diseñado una base firme, que otorgue rigidez a toda la maqueta. Se realizará en madera, ya que el espesor es de 30 mm y resultaría demasiado lento realizarlo con impresión 3D. En la Figura 84 se puede ver el diseño de la base, mostrando también una sección para apreciar la colocación de las tuercas.

Los taladros permiten que las varillas pasen a través de la madera y, mediante tuercas, se puede ajustar el nivel de cada una de dichas varillas. Esta medida resulta necesaria para sanar las pequeñas diferencias de longitud entre varillas, debidas a que el corte manual con amoladora no es exacto.

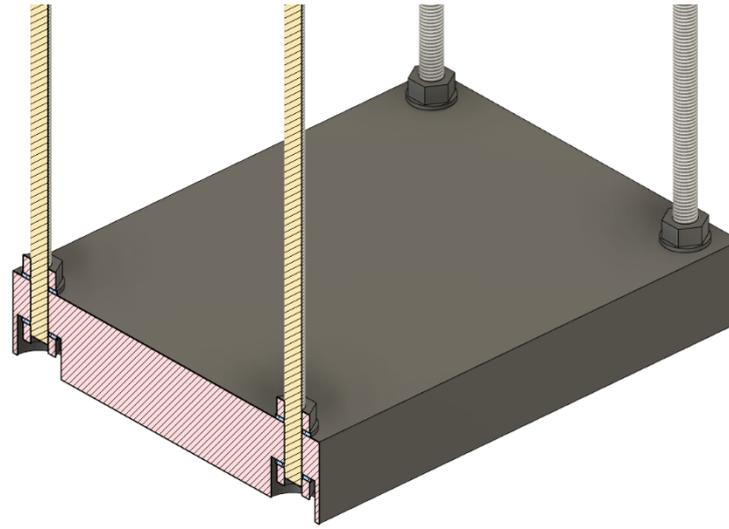


Figura 84. Base de la estructura de varillas.

4.2. Diseño hardware

En lo relativo al hardware utilizado en el proyecto, se ha partido de los componentes estudiados previamente en el apartado de *Análisis del problema* (pág. 24) de esta memoria.

A continuación, se indican los distintos montajes elaborados para ir probando cada parte mecánica que se ha realizado.

4.2.1. Pruebas del mecanismo de elevación telescópica

En este caso, se quería probar el correcto funcionamiento del elevador telescópico, así como los plegados que realizan sobre el papel los primeros bloques.

Para ello, se ha propuesto conectar dos pulsadores al microcontrolador Arduino. Cada uno se encarga de activar el movimiento del motor en un sentido, mientras se mantenga pulsado. De esta forma resulta sencillo y práctico mover el elevador a las posiciones deseadas.

Por otro lado, se ha conectado el motor paso a paso al controlador modelo L298N. Las conexiones se muestran en la Figura 91. Este modelo de driver se ha elegido porque permite tanto el control de motores de corriente continua como de motores paso a paso. Se ha valorado positivamente esta flexibilidad de uso por si resulta conveniente cambiar el tipo de motor. Tiene 4 conexiones para las dos bobinas y 4 entradas de control que se conectan al Arduino. La alimentación se ha configurado conectando el jumper que tiene el regulador. De esta forma, alimentando todo el módulo a 12 V, proporciona una salida de 5 V que alimentará el microcontrolador.

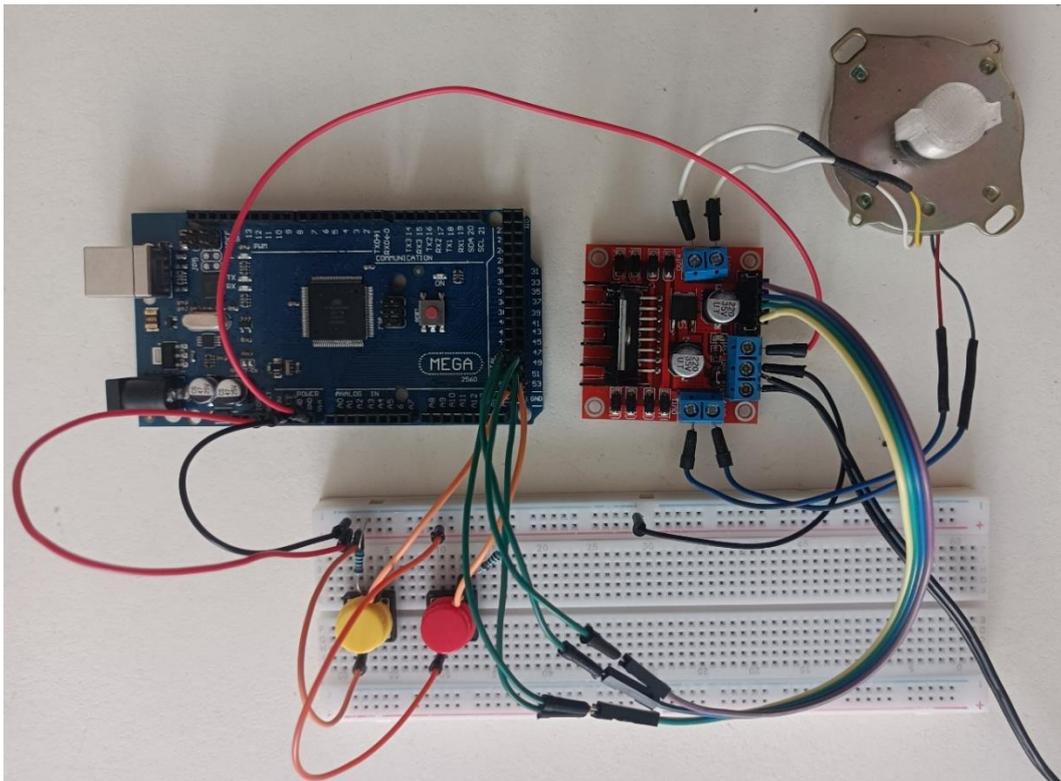


Figura 85. Conexiones prueba elevador telescópico.

4.2.2. Pruebas de los últimos pasos con servomotores

Tras realizar el diseño mecánico de la ejecución de los pasos 4, 5, 8 y 9 (ver Figura 23,

Figura 25,

Figura 27 y

Figura 28, respectivamente), se ha realizado el diseño de un circuito para poder probar su funcionamiento.

Se han utilizado servomotores SG90, ya que sus características son adecuadas para la aplicación y el coste es reducido.

Para incluir esta parte en el circuito montado previamente, se ha analizado la forma de alimentarlo. Por un lado, el controlador L298N para el motor paso a paso se alimenta a 12 V y proporciona 5 V al Arduino Mega. Por otro lado, los servomotores se conectan a otra fuente de 5 V para tener una intensidad suficiente que permita proporcionar la potencia necesaria para mover los cuatro motores. En la Figura 86 se muestra un esquema de alimentaciones.

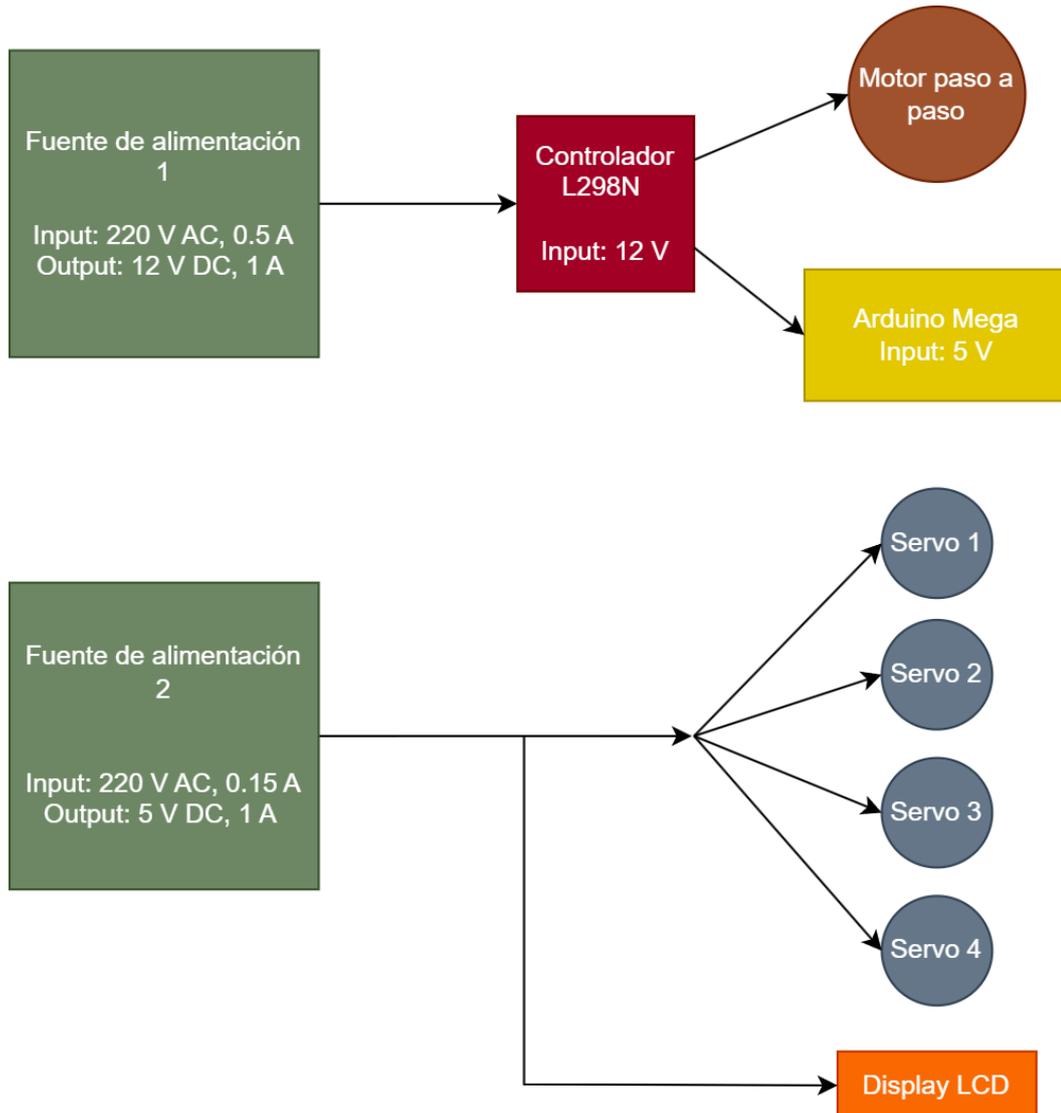


Figura 86. Esquema de alimentaciones.

En este caso, se han empleado dos fuentes de alimentación distintas porque la corriente suministrada por el Arduino no era suficiente para alimentar a los 4 servomotores. El modelo Arduino Mega suministra una corriente de salida máxima de 40 mA, y un servomotor SG90 consume típicamente unos 150 – 200 mA. Por lo tanto, lo más adecuado sería alimentar los servos, el Arduino y el motor paso a paso con una fuente de alimentación externa de mayor potencia. Como se trata de un prototipo de bajo coste, se han aprovechado dos

modelos de fuentes procedentes de otros dispositivos que, en conjunto, consiguen las prestaciones necesarias.

La primera de ellas se encarga de alimentar el controlador del motor a 12V y la segunda proporciona 5 para los servomotores.

En la Figura 87 se muestran las conexiones de los servomotores con el Arduino Mega.

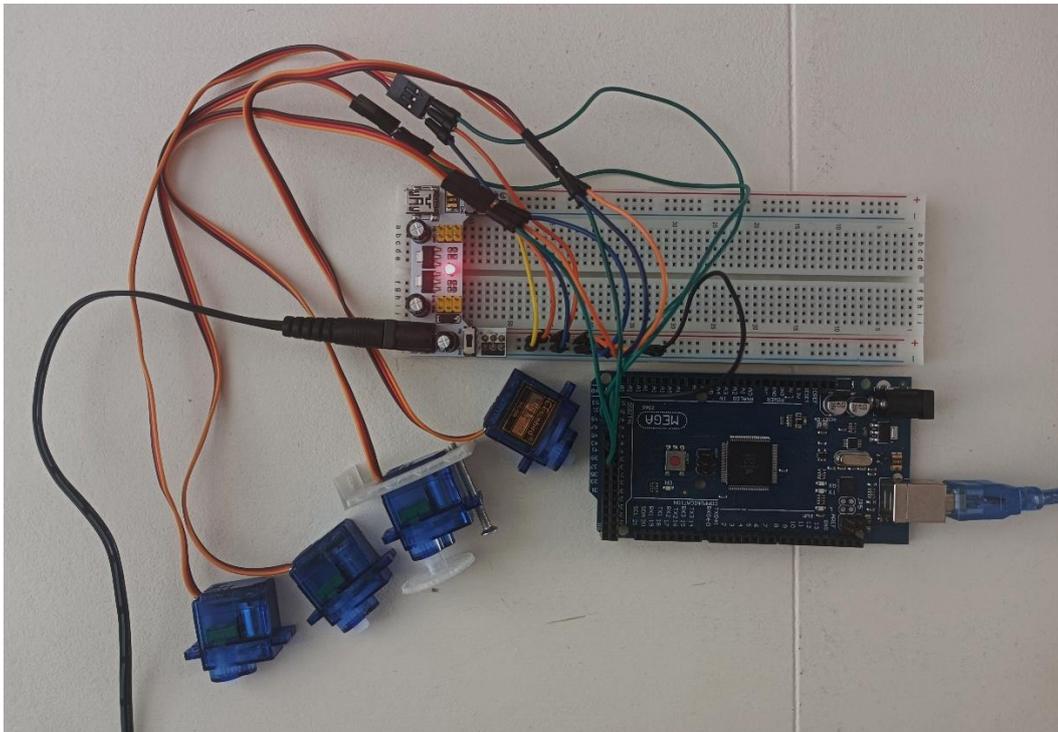


Figura 87. Conexiones de los servomotores y el Arduino Mega.

4.2.3. Elementos electrónicos del prototipo

Tras las pruebas realizadas, se ha comprobado que los componentes planteados son adecuados para el uso. A continuación, se listan los elementos presentes en el diseño.

4.2.3.1. Servomotores SG90

Se trata de un modelo de motor de tamaño muy reducido, ligero y compacto, muy adecuado para la presente aplicación. Su movimiento puede ser controlado mediante una señal PWM proporcionada por un microcontrolador. En función del ancho de pulso, el servo se mueve a una posición angular determinada (entre 0° y 180°).

Se alimenta con una tensión de 5V y es capaz de dar el torque suficiente para mover las pequeñas piezas correspondientes de este proyecto. En la Figura 88, se indican los tres terminales de conexión que tiene.

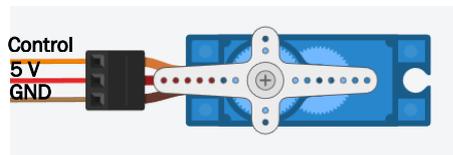


Figura 88. Conexiones servomotor SG90

4.2.3.2. Motor paso a paso STH-46D004

La elección de este modelo de motor se ha debido a su compatibilidad y rendimiento superior en comparación con otros dispositivos disponibles. Había cinco opciones de modelos aprovechados de dispositivos obsoletos, como escáneres e impresoras. Dado que el objetivo era desarrollar un prototipo de bajo coste, la adquisición de un nuevo motor paso a paso no era una opción viable en términos de presupuesto y recursos. Como se mencionó en un capítulo anterior, se han desarrollado algunas pruebas experimentales para tomar esta decisión (ver Anexo: Pruebas experimentales a los motores paso a paso).

Para controlar este tipo de motores de forma sencilla con un microcontrolador, es necesario utilizar un circuito llamado *Puente H*. El objetivo es activar las bobinas secuencialmente para que el imán del rotor vaya cambiando su orientación. De esta forma se consigue un control de la velocidad y del sentido de giro.

Cuando se invierten los polos positivo y negativo en los bornes de un motor DC, cambia el sentido de giro. El circuito mencionado cuenta con interruptores (generalmente transistores) para efectuar el cambio de polaridad. Se puede construir un puente H con cuatro interruptores, y el funcionamiento es el mostrado en la Figura 89. En este caso se ha utilizado el circuito integrado L298N y las conmutaciones de los interruptores son controladas mediante el Arduino. [9]

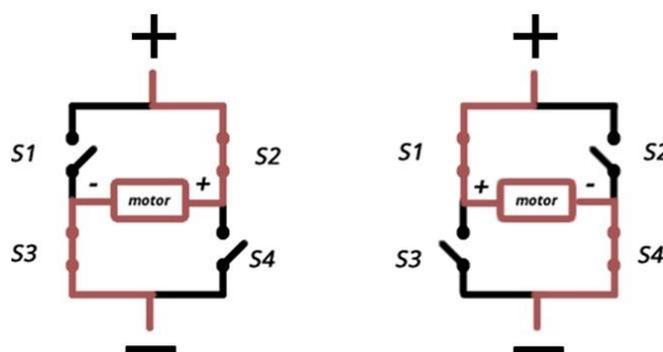


Figura 89. Cambio de sentido de un motor paso a paso mediante un puente H. [10]

4.2.3.3. Display LCD

Para elaborar un menú sencillo de uso, útil tanto para la fase de pruebas y prototipado, como para el manejo a nivel de usuario, se ha incluido un display LCD. El modelo utilizado es el módulo de pantalla LCD QAPASS 1602A (con 16 columnas y 2 filas).

Los pines de este componente son los mostrados en la Figura 90. A continuación, se explica la función de cada uno de ellos:

Vss: GND.

Vdd: Alimentación de 5 V. Se ha colocado una resistencia en serie de 220 Ω para evitar dañar la pantalla.

Vo: Sirve para regular el contraste de la pantalla en función de la resistencia que se conecta a su entrada. Experimentalmente, se ha ajustado el valor de dicha resistencia a 330 Ω .

RS: Este pin sirve para seleccionar el registro. En cada caso, el microcontrolador indica si se desea mostrar caracteres en la pantalla o si se quiere enviar comandos de control (borrar la pantalla, cambiar la posición del cursor...).

RW: Este pin indica el modo: lectura (nivel alto) o escritura (nivel bajo).

E: Es el pin de habilitación.

D0-D7: Es un bus de datos de 8 bits. En este caso, solo se utilizarán D4-D7 para establecer la comunicación por la que se transferirán los datos.

A y K: Son los pines correspondientes a la luz de fondo de la pantalla. A se conecta a 5 V y K a GND.

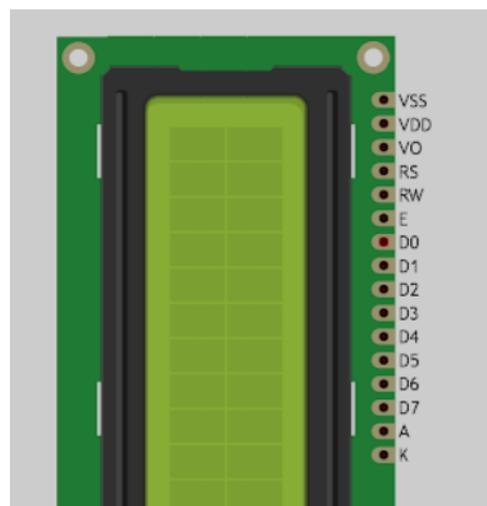


Figura 90. Pinout display LCD.

4.2.3.4. Pulsadores NA

Se han utilizado pequeños pulsadores normalmente abiertos de 4 pines, ya que son los más comunes en el mercado para aplicaciones con Arduino. Para conseguir un correcto funcionamiento, se ha realizado un montaje con resistencias pull-down de 10 k Ω . De esta forma, cuando se cierre el interruptor, la corriente irá hacia la entrada del Arduino, y no se producirá un cortocircuito a masa.

4.2.3.5. Resistencias

Las resistencias utilizadas son de la serie E-96, con una tolerancia de $\pm 1\%$.

4.2. Diseño software

En este apartado se describe el desarrollo del prototipo relativo a la programación.

El diseño software ha ido acompañando al hardware en cada momento. A continuación, se explican brevemente los programas que se han utilizado para realizar cada prueba de funcionamiento.

4.2.3. Pruebas del mecanismo de elevación telescópica

Como se ha descrito en el desarrollo hardware de esta parte, el objetivo ha sido controlar el movimiento del motor paso a paso encargado de mover la plataforma de elevación. Esto se ha llevado a cabo a velocidad constante y mediante dos botones para elegir el sentido de giro.

En la Figura 91 se muestra el bucle principal. Se hace uso de la librería *Stepper.h*, que permite crear un objeto del tipo motor paso a paso y controlar su velocidad, sentido de giro y número de pasos a mover.

```
void loop() {
  myStepper.setSpeed(150);

  while (digitalRead(up_pin) == 1){
    myStepper.step(stepsPerRevolution/10);
  }
  while (digitalRead(down_pin) == 1){
    myStepper.step(-(stepsPerRevolution/10));
  }

  delay(100);
}
```

Figura 91. Bucle del programa de prueba del motor paso a paso.

4.2.4. Pruebas de los últimos pasos con servomotores

Para llevar a cabo el control de los servos, lo primero ha sido marcar sus posiciones de 0°. Para ello, se ha ejecutado el código simple que se muestra en la Figura 92. La librería *Servo.h* permite instanciar objetos tipo servo, con funciones asociadas como *write(int value)*, que mueve el motor los grados indicados en el argumento.

Ejecutando dicha función, se ha marcado también el sentido de giro positivo y negativo.

```
#include <Arduino.h>
#include <Servo.h>

Servo servo1;
Servo servo2;
Servo servo3;
Servo servo4;

void setup() {
  servo1.attach(15);
  servo2.attach(47);
  servo3.attach(43);
  servo4.attach(39);
}

void loop() {
  servo1.write(0);
  servo2.write(0);
  servo3.write(0);
  servo4.write(0);
}
```

Figura 92. Posiciones 0° en los servomotores.

Una vez realizadas las primeras pruebas de funcionamiento, se ha desarrollado el código que posibilitará el funcionamiento completo de la aplicación.

4.2.5. Elementos a controlar

4.2.5.1. Servomotores

Como se explicó anteriormente, se han controlado mediante la librería *Servo*, en la que ha sido necesario realizar una pequeña modificación que se explicará a continuación.

Tras identificar la posición 0° y 180° de los servos, se ha establecido que la aplicación comenzará con los motores situados a 180°. De esta forma, mecánicamente se montarán las pequeñas plataformas (ver Figura 75) en su posición más retraída. Así, el espacio por el que circula el jabón estará

despejado. Cuando los servomotores avancen de 180° a 0°, las partes avanzarán envolviendo el jabón.

Para conseguir esto, no basta con escribir en el `setup()` las siguientes líneas:

```
servo1.write(180);  
delay(100);  
servo2.write(180);  
delay(100);  
servo3.write(180);  
delay(100);  
servo4.write(180);  
delay(100);
```

Figura 93. Inicialización de la posición de los 4 servomotores.

Resulta necesario acceder a la librería utilizada y actualizar también la posición establecida para los servos al vincularlos al pin de señal. En la Figura 94 puede verse la modificación. Por defecto, el valor era 1500, equivalente a 90°.

```
#define MIN_PULSE_WIDTH 544 // the shortest pulse sent to a servo  
#define MAX_PULSE_WIDTH 2400 // the longest pulse sent to a servo  
#define DEFAULT_PULSE_WIDTH 2400 // default pulse width when servo is attached.  
#define REFRESH_INTERVAL 20000 // minimum time to refresh servos in microseconds
```

Figura 94. Cambio posición por defecto librería Servo.h.

4.2.5.2. Motor paso a paso

En este caso, se ha utilizado la librería `Stepper.h`. Se ha controlado también la velocidad a la que se mueve el motor, como se ha explicado en las pruebas del mecanismo de elevación telescópica, ajustándola a un valor factible para el modelo de motor y suficiente para la aplicación.

4.2.5.3. Display LCD

Para escribir en la pantalla, se ha hecho uso de la librería `LiquidCrystal.h`, que permite indicar la posición concreta en la que se quiere empezar a escribir, y borrar el contenido que ya no se desee mostrar.

En nuestro caso, se muestran mensajes sencillos que permiten al usuario navegar por el menú.

4.2.5.4. Pulsadores NA

Se han utilizado tres pulsadores normalmente abiertos para elegir el modo de funcionamiento y controlar los motores. Un botón tiene la función de avance (forward), otro la de retroceso (backward), y el último la de entrar (enter).

Cabe destacar que para conseguir que los botones funcionen correctamente, hay que tener en cuenta el efecto de “rebote”. En lugar de generar una sola señal de salida cuando el botón se presiona, se producen múltiples contactos rápidos de forma momentánea. En la Figura 95 se muestra cómo se ha realizado esto para el caso del cambio de modo cuando se presiona el botón de salida o el de bajada.

```
if ((digitalRead(forward_pin) == HIGH) || (digitalRead(backward_pin) == HIGH)) {
    delay(50);
    mode = !mode;
}
```

Figura 95. Solución al efecto "rebote de los pulsadores".

A continuación, se muestra un breve esquema de dicho menú:

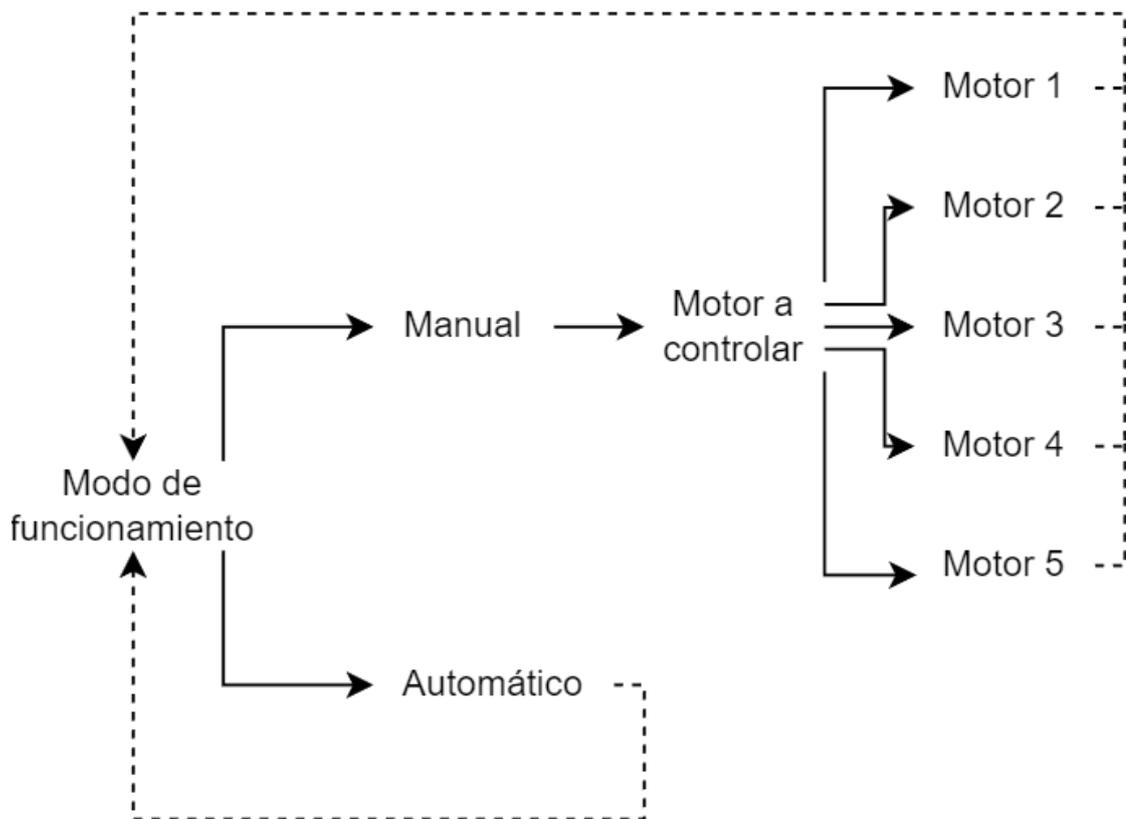
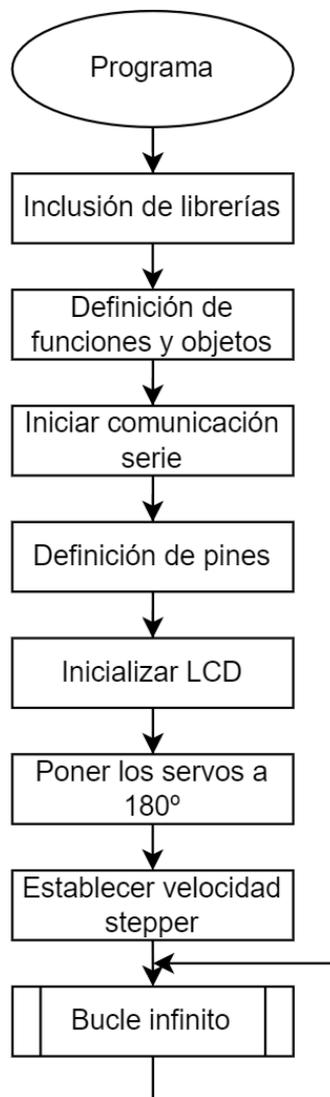


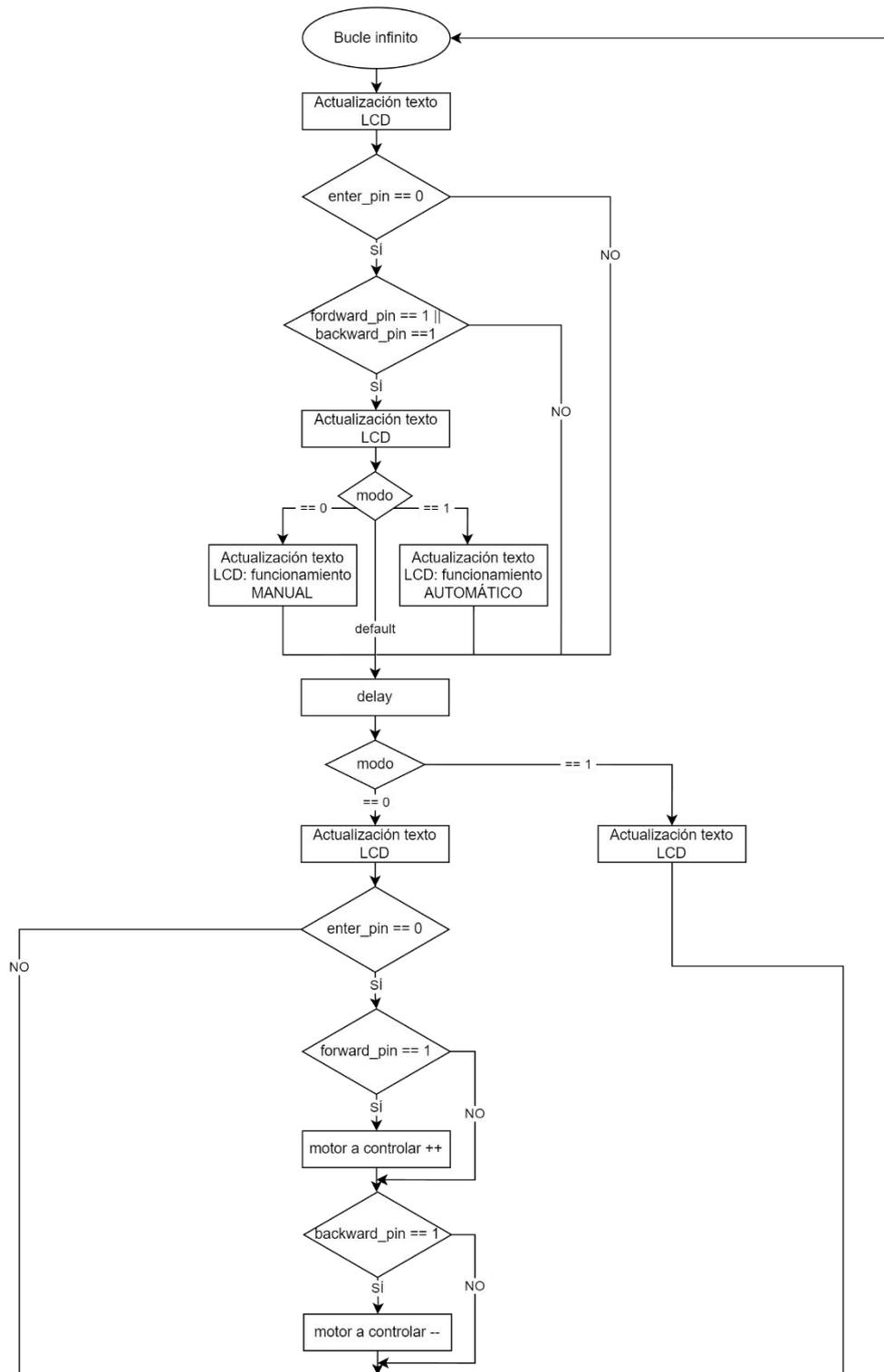
Figura 96. Esquema del menú del programa.

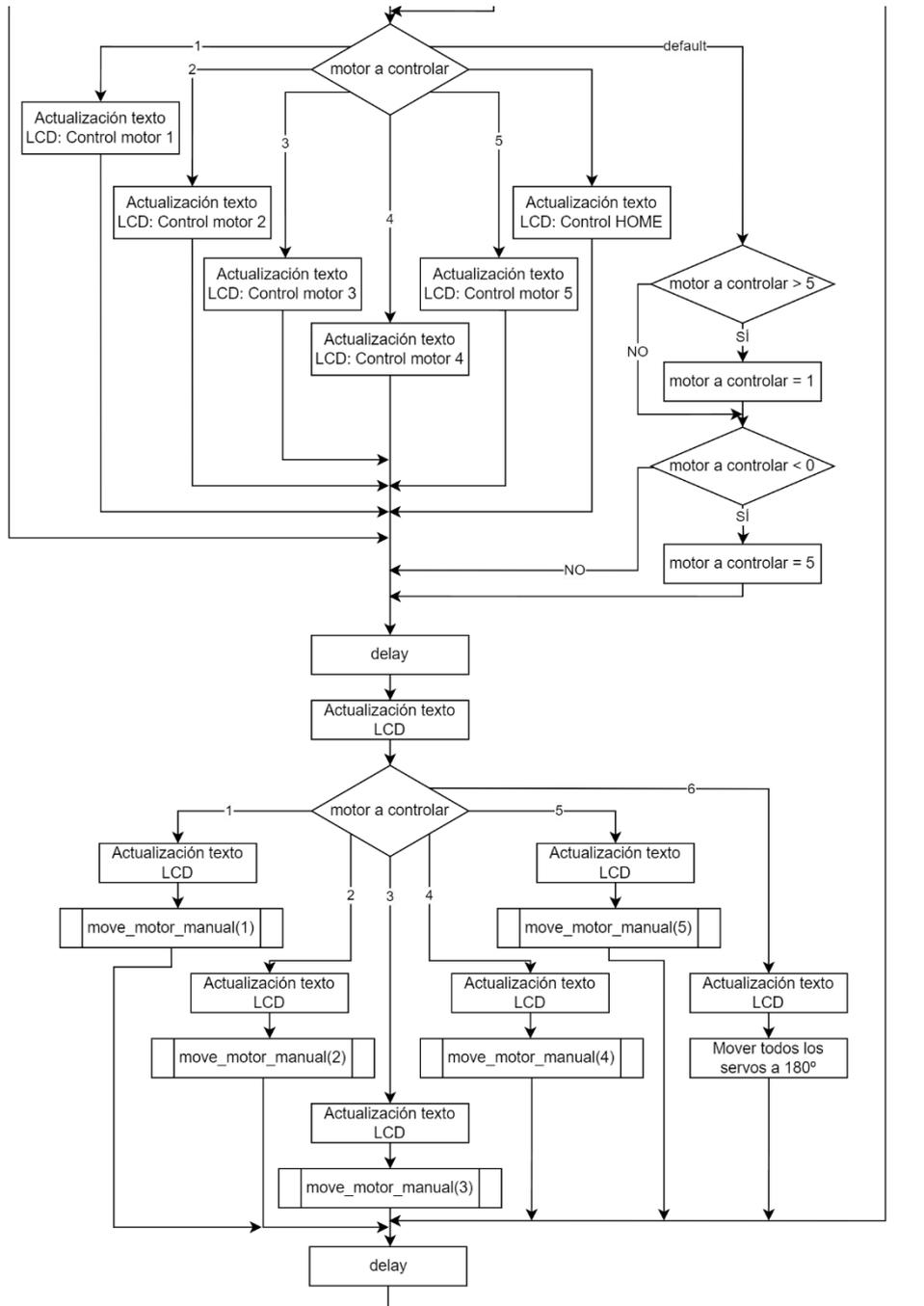
Siguiendo esta secuencia, se van ejecutando las acciones correspondientes en cada caso, y se va actualizando el texto del display.

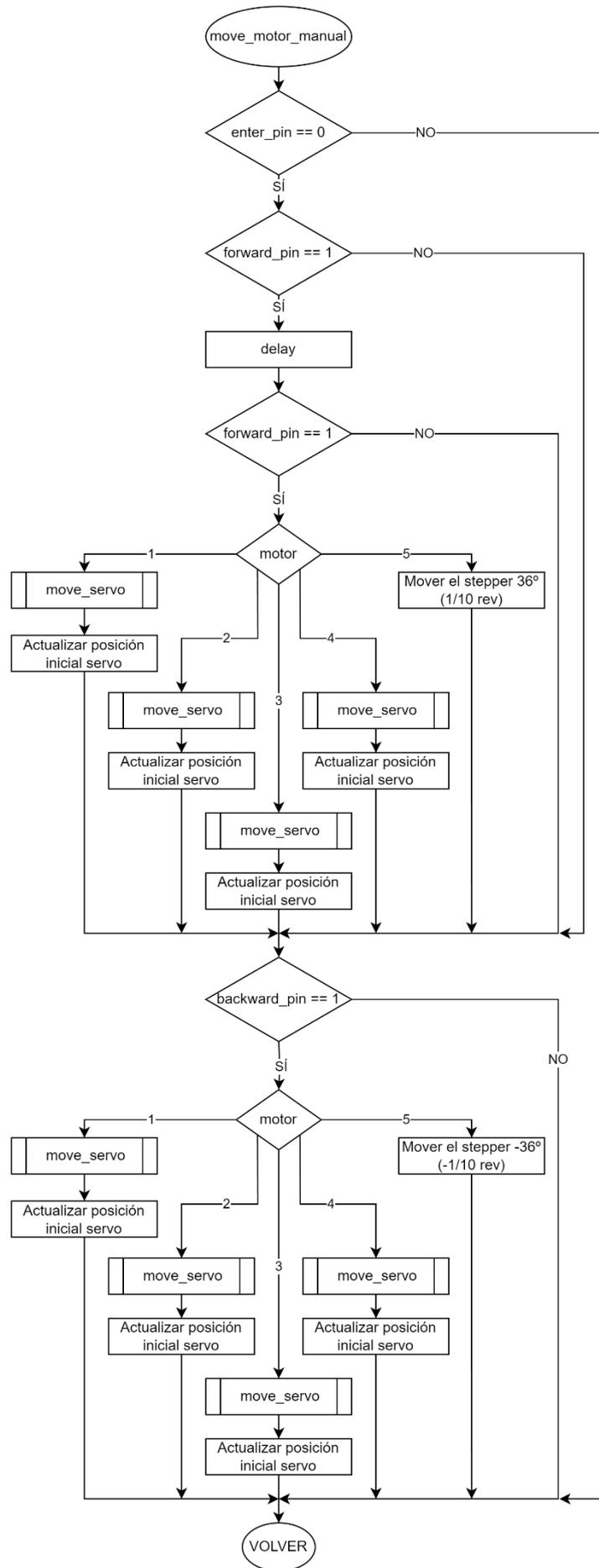
4.2.6. Flujograma del código

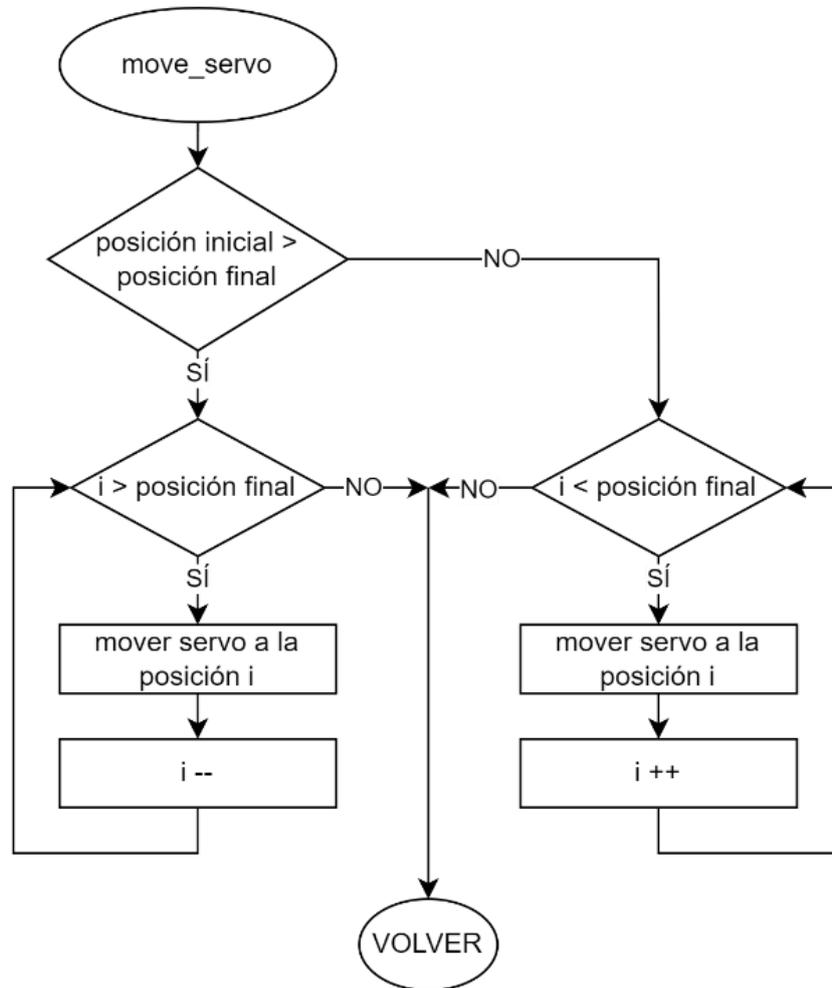
A continuación, se muestra el flujograma que representa el funcionamiento del código, incluyendo las funciones utilizadas.











4.3. Montaje y funcionamiento del prototipo

Tras realizar la fase de diseño, se ha montado la parte mecánica que soporta los movimientos de los motores. En apartados anteriores, se ha indicado que, para la fabricación de piezas se ha empleado el Procedimiento de impresión 3D descrito en los anexos.

En segundo lugar, se ha comprobado que los distintos elementos hardware funcionan correctamente, compilando el código desarrollado en el Arduino.

Por último, se han incorporado los elementos electrónicos en la estructura mecánica, obteniendo el resultado que se puede ver en la Figura 97.

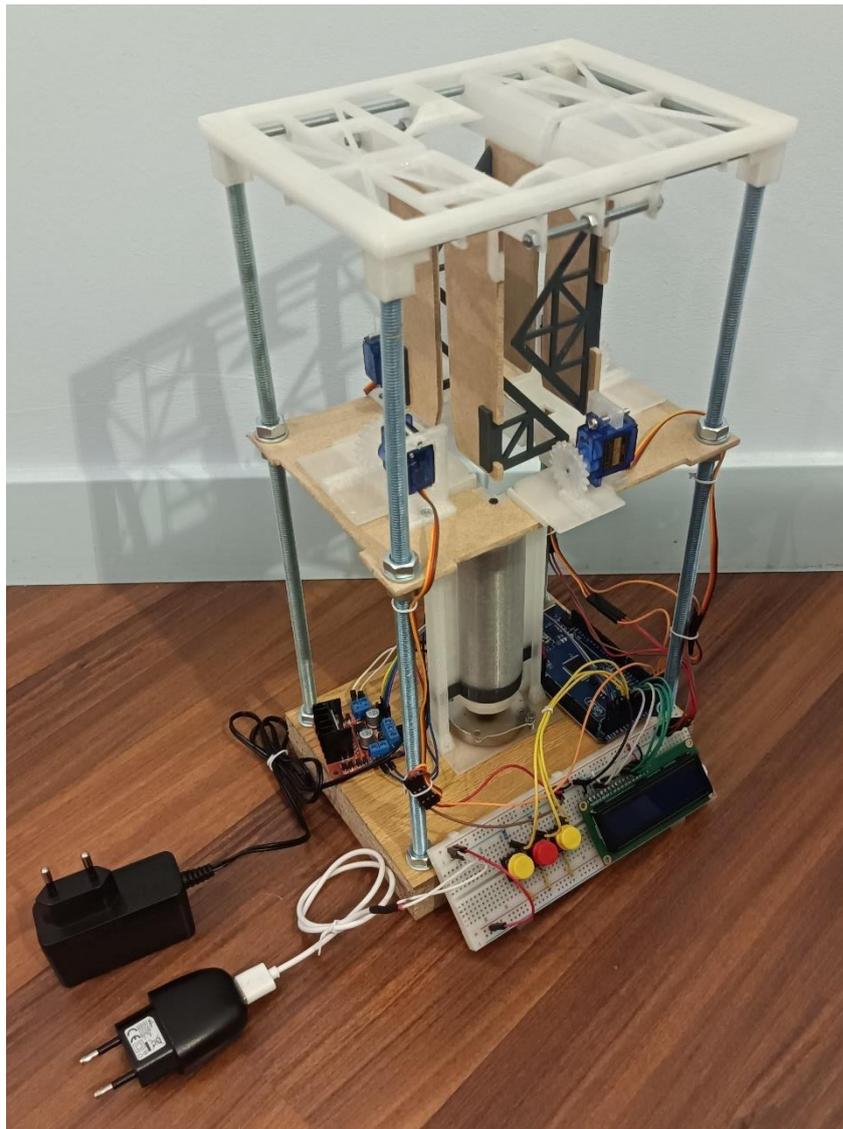


Figura 97. Maqueta final solución 2.

4.3.3. Resultados del modo de funcionamiento manual

A continuación, se muestran imágenes en las que se puede apreciar cada paso ejecutado por el manipulador en modo manual. Siguiendo el menú explicado anteriormente, se va eligiendo el motor que se desea controlar en cada momento.

En primer lugar, se marcan las dobleces en el papel mediante la placa fabricada con dicho propósito (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Posteriormente, se coloca un pequeño trozo de cinta de doble cara en el borde del papel indicado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** De esta forma, al completar los dobleces, se podrá apreciar el resultado final.



Figura 98. Marcado de dobleces en el papel.

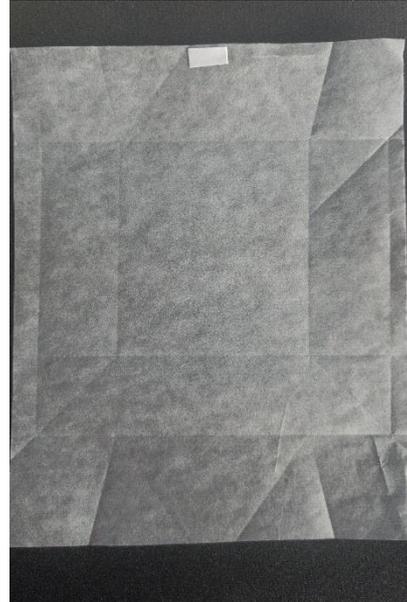


Figura 99. Papel con las dobleces marcadas y cinta de doble cara pegada.

A partir de este punto, se procede a la realización de los dobleces, según se describieron en el apartado Análisis del funcionamiento deseado de esta memoria. Mediante las figuras a continuación, se trata de ilustrar el mecanismo llevado a cabo. En todo momento se ha hecho referencia a la numeración establecida inicialmente de los pasos realizados de forma manual.

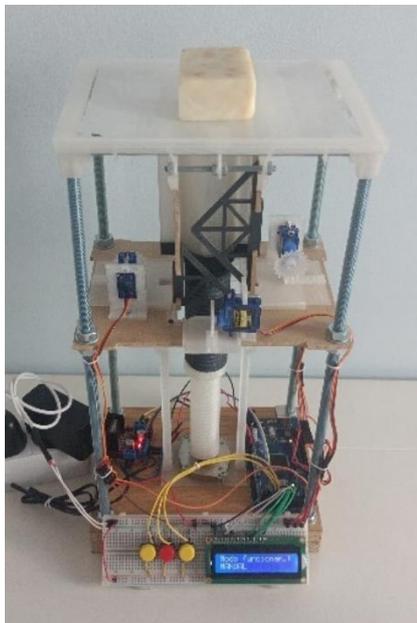


Figura 100. Posición inicial segunda propuesta.

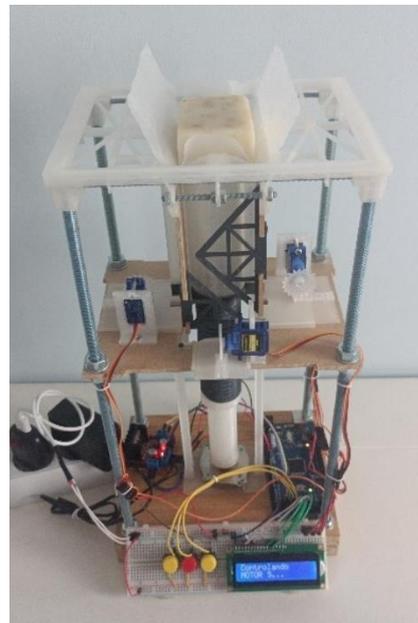


Figura 101. Pasos 1, 2 y 6 segunda propuesta.

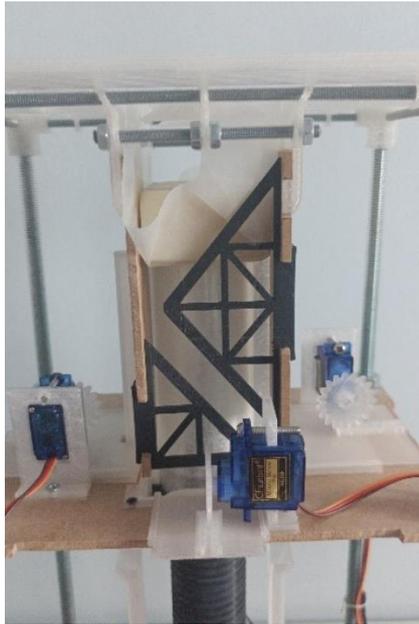


Figura 102. Paso 3 segunda propuesta. Vista alzado.

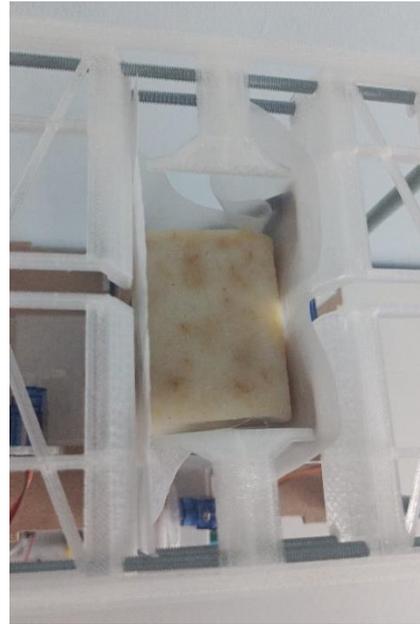


Figura 103. Paso 3 segunda propuesta. Vista planta.



Figura 104. Paso 7 segunda propuesta.

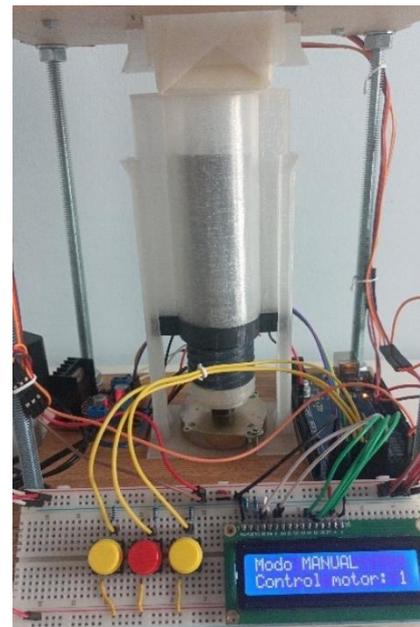


Figura 105. El jabón desciende hasta la posición apropiada para realizar los últimos pliegues.



Figura 106. Paso 4 segunda propuesta. Avance del servomotor.



Figura 107. Paso 4 segunda propuesta. Vista del papel.



Figura 108. Paso 4 completado segunda propuesta.



Figura 109. Paso 5 segunda propuesta.



Figura 110. Paso 9 segunda propuesta.

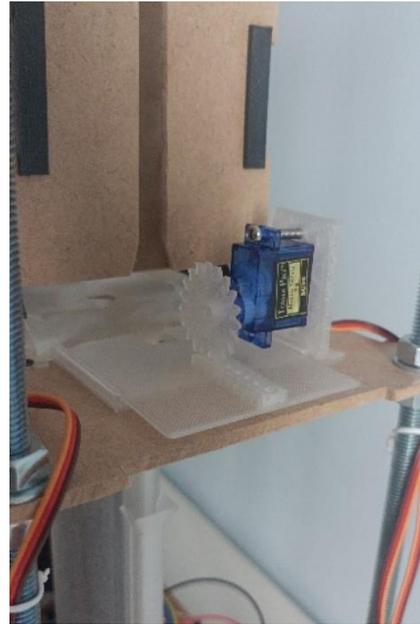


Figura 111. Retroceso de los servomotores.



Figura 112. Tras retroceder los tres servomotores que se encargaron de los primeros tres pliegues, queda el espacio libre para que el jabón descienda.

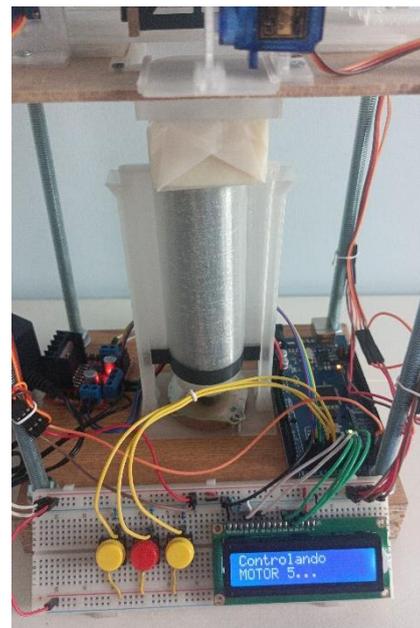


Figura 113. Descenso de la plataforma elevadora hasta la posición final para retirar el jabón.



Figura 114. Resultado final.

Capítulo 5: SOFTWARE UTILIZADO

En este capítulo se describirán los programas utilizados para el desarrollo del diseño.

Diseño mecánico

Fusion 360°

Ultimaker Cura

SymplyPrint

Diseño electrónico

Kicad

Diseño software

Visual Studio Code

5.1. Programa Fusion 360°

Se trata de una plataforma de software de modelado 3D, CAD, CAM, CAE y PCB basada en la nube, destinada al diseño y la fabricación de productos. Permite diseñar diversos tipos de productos, creando la forma deseada y añadiendo aspectos estéticos y de funcionalidad. [11]

Se ha elegido para este proyecto porque el entorno Autodesk cuenta con licencias educativas y su función satisface las necesidades de este proyecto.

Permite diseñar cualquier pieza partiendo de bocetos y realizando posteriormente extrusiones, revoluciones, barridos o soleados, entre otras operaciones de creación. De esta forma, a partir de un boceto en 2D se obtiene una pieza en 3D lista para ser fabricada.

Otra de las razones por las que se ha elegido esta herramienta, es la facilidad de generar un archivo *.stl* a partir de un cuerpo para, posteriormente, imprimirlo en 3D. Este tipo de archivos almacena información geométrica de un objeto, representando su superficie mediante una malla triangular. También, de cara a fabricaciones mecánicas de otro tipo (en madera, por ejemplo), permite obtener planos de cada componente diseñado.

Por otro lado, este software cuenta con otra utilidad muy interesante. Permite capturar el historial de diseño y, de esta manera, es posible modificar una operación que se hizo con anterioridad y, automáticamente, se modifican las operaciones posteriores afectadas.

5.2. Ultimaker Cura

Se trata de un programa de código abierto de impresión 3D. Permite fácilmente preparar un archivo para su fabricación, utilizando tanto ajustes por defecto, como parámetros personalizados en función del material, el modelo de impresora y el tipo de pieza, entre otros. [12]

Se ha elegido esta herramienta porque es gratuita y permite ajustar los parámetros de impresión necesarios. Importando el archivo *.stl* desde Fusion 360°, genera el código G listo para imprimir.

En los anexos de este documento, se explica el procedimiento a seguir para conseguir una buena impresión, así como los principales parámetros que se deben ajustar (ver Procedimiento de impresión 3D).

5.3. SimplyPrint

SimplyPrint es un software 3D basado en la nube. Permite controlar las impresiones, proporcionando una interfaz sencilla de manejar. [13]

Conectando la impresora a red, el programa la detecta y le envía el código G obtenido previamente de Cura. Se controla el proceso de impresión: permite parar en caso de fallos, ver el tiempo restante, precalentar la impresora y posicionarla en *Home*.

En la Figura 143 de los anexos se muestra la interfaz de la aplicación.

5.4. Kicad

Se trata de un software gratuito, que permite crear esquemas electrónicos, diseñar PCBs y visualizar en 3D el resultado. Por un lado, el editor de esquemas de KiCad tiene una amplia compatibilidad con todo tipo de esquemas. Permite también crear símbolos personalizados o usar la biblioteca propia del programa. Por otro lado, cuenta con un editor de PCB que permite diseñar placas propias a partir del esquemático. [14]

En este proyecto se ha empleado solamente el editor de esquemas, pero se ha elegido teniendo en cuenta la posibilidad futura de realizar una PCB para integrar todo el diseño.

5.5. Visual Studio Code

Es un editor de código fuente desarrollado por Microsoft. Es de código abierto y cuenta con diversas utilidades. Entre ellas, cabe destacar el depurador integrado, la facilidad de trabajar con Git y la interfaz limpia e intuitiva. [15]

En este proyecto se ha utilizado porque permite elegir el microprocesador y la placa sobre la que se desea trabajar de forma sencilla. Además, cuenta con numerosas librerías para todo tipo de aplicaciones.

Se ha preferido el uso de este editor de código antes que el propio de Arduino, ya que está más optimizado, y cuenta con herramientas como el resaltado de sintaxis, el autocompletado inteligente y la navegación rápida entre archivos y líneas de código.

Capítulo 6: ESTUDIO ECONÓMICO

En este apartado de la memoria, se ha calculado el costo total de la ejecución de este proyecto. No pretende ser un estudio económico al uso, sino una aproximación de los costos en la situación en la que se ha llevado a cabo. Para ello, se han establecido 4 capítulos:

Recursos humanos

Materiales

Equipo de fabricación

Software

Diseño y construcción de un robot para envolver pastillas de jabón					
Costes directos	Referencia	Fabricante	Unidades	Precio/ud (€)	TOTAL (€)
Recursos humanos					
Horas de ingeniería			600	12.43	7 458.00
Materiales					
Fuente de alimentación 5 V	Alimentador estabilizado 5V 1A 5W	Cetronic	1	8.76	8.76
Fuente de alimentación 12 V	Alimentador estabilizado 12V 1A 12W	Cetronic	1	4.84	4.84
Arduino Mega	Arduino Mega 2560 Rev3	Arduino	1	33.6	33.60
Display LCD	162B-CC-BC-3LP	RS Components	1	12.52	12.52
Pulsadores	TMG1-01	RS Components	3	0.82	2.46
Servomotor	2565	RS Components	4	5.32	21.28
Motor paso a paso (genérico)			1	20	20.00
Placa de prototipado	102-9147	RS Components	1	16.6	16.60
Driver del motor paso a paso	105990007	Farnell	1	21.98	21.98
Cables de conexión (por metro)	FIT0010	Mouser	1	5.35	5.35
Resistencia 1 kΩ	MBA02040C1001FRP00	Mouser	1	0.23	0.23
Resistencia 5.6 kΩ	291-5.6K-RC	Mouser	1	0.39	0.39
Resistencia 10 kΩ	MBA02040C1002FC100	Mouser	3	0.43	1.29
Tablero MDF 80 x 40 x 0,3 cm	10114510	ObraMat	1	4	4.00
Filamento PLA 850 1KG 1.75	PLA1KTRA	FILEX3D	1	18.9	18.90
Filamento TPU flexible 500g	FTPU90A175500AM	FILEX3D	1	16.9	16.90
Varillas roscadas M4 1 m	10070256	ObraMat	1	0.32	0.32
Varillas roscadas M8 2 m	10282601	ObraMat	1	1.9	1.90
Tuercas M4	10981936	ObraMat	8	0.01	0.08
Tuercas M8	10982454	ObraMat	16	0.02	0.32
Arandelas M8	10283735	ObraMat	16	0.09	1.44
Tornillo M3 30 mm	10412206	ObraMat	2	0.03	0.06
Tornillo M3 20 mm	10412171	ObraMat	4	0.02	0.08
Tornillo M3 10 mm	10412164	ObraMat	4	0.02	0.08
Tuerca M3	10412311	ObraMat	4	0.01	0.04
Regleta de dos conexiones con interruptor			1	7.95	7.95
Equipo de fabricación					
Impresora 3D Anet A8	186519	PC Componentes	1	195	195.00
Taladro	10734234	ObraMat	1	43	43.00
Amoladora	25023878	ObraMat	1	15.49	15.49
Sierra de marquetería	10525501	ObraMat	1	7.64	7.64
					0.00
					0.00
Software					
Licencia programa Fusion 360 (por mes)			5	73	365.00
TOTAL					8 285.50

Capítulo 7: CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

7.1. Conclusiones

El objetivo principal de este proyecto era diseñar y construir un robot capaz de envolver una pastilla de jabón de forma similar a la llevada a cabo manualmente. A continuación, se listan los objetivos cumplidos y el alcance final del proyecto.

- Para envolver la pastilla de jabón se ha empleado el material propuesto, papel de cristal, y se han ejecutado los mismos pliegues que se realizan en el proceso manual. Para conseguirlo, se han ido adaptando las formas de los bloques que van plegando el papel. Todo ello ha supuesto un reto, ya que en ambientes comerciales se emplean otro tipo de soluciones. Por ejemplo, el material más comúnmente utilizado es el plástico termosellable, que se adapta a la perfección al contenido y queda cerrado. Ha sido necesario mantener presente en todo momento que se debe tratar de un envoltorio concreto, que cumple con las características deseadas por el taller que realiza el producto.

En este caso, sí se ha optimizado la secuencia de pasos propuesta inicialmente para conseguir mayor efectividad, tanto a nivel de diseño como a nivel de tiempo empleado en la ejecución del ciclo. Dicha secuencia se ha descrito para las dos soluciones planteadas y se ha probado que no altera el resultado final deseado.

- Se ha desarrollado una interfaz que permite seleccionar en un menú la ejecución de movimientos que se desea realizar. Mediante el uso de tres botones, se navega por el menú, eligiendo qué motor se desea mover. Se permite el control en ambos sentidos, dentro de los límites físicos establecidos vía software. Para ello, se ha hecho uso de una pantalla LCD que muestra el menú.

De esta forma, han quedado habilitados todos los movimientos necesarios para poder realizar cada uno de los pliegues del papel sobre la pastilla de jabón. Queda planteada la idea de un modo de funcionamiento automático, que cumpla con una secuencia precisa de movimientos ejecutados de forma continua.

El control de todo ello se ha realizado mediante el microcontrolador Arduino Mega. Se ha desarrollado un código que hace posible efectuar la lógica planteada, gobernando el motor paso a paso, los servomotores y la pantalla.

- Otro de los principales objetivos era llegar a construir una maqueta de bajo coste. Para conseguirlo, se ha desarrollado una solución que optimiza el número de motores necesario. También se han reutilizado materiales de otros dispositivos en desuso. Por ejemplo, las fuentes de alimentación procedían de alimentadores de rúters y teléfonos móviles, y el motor paso a paso pertenecía a un escáner estropeado.

Para llevar a cabo la elección de este último, se han realizado ensayos experimentales que permitieran determinar si su funcionamiento era correcto, si resultaban adecuados para la aplicación, y definir sus

conexiones. Ha sido necesario este proceso ya que, en la mayoría de los casos, no se han encontrado hojas de características de los elementos. Esto se debe, posiblemente, a que su fabricación era personalizada para el dispositivo concreto del que han sido extraídos.

Si se desea continuar con la idea del prototipo, será necesario realizar una investigación más exhaustiva de dichos materiales y sustituirlos por modelos comerciales con prestaciones más adecuadas. En el caso del motor paso a paso, sería conveniente poder alcanzar mayor velocidad, y los servomotores sería óptimo que tuvieran mayor par y robustez.

- Para la elaboración de la estructura, se ha empleado, entre otras, la tecnología de impresión 3D. Se han fabricado la mayor parte de las piezas de este trabajo en material PLA, como se indica en el ANEXO C: Procedimiento de impresión 3D.

Para implementar esta forma de fabricación, en primer lugar, ha sido necesario aprender a manejar un programa de diseño 3D. El candidato elegido fue Fusion 360 por varios motivos, entre otros su disponibilidad de licencia para estudiantes y su comunidad de usuarios que facilitan instrucciones de manejo.

A lo largo del desarrollo del trabajo, se han ido descubriendo utilidades del programa, optimizando así los diseños en forma y usabilidad. Una vez elaborado el elemento que se desea fabricar, se debe exportar a *.stl* para abrirlo posteriormente con un *slicer*. Este tipo de software permite convertir el archivo *.stl* en *código G* listo para enviar a la impresora.

- Se ha estudiado la viabilidad mecánica de dos posibles soluciones y se ha llevado a cabo una maqueta de la segunda de ellas. Dicha maqueta ha sufrido modificaciones para ir ajustando el funcionamiento y conseguir unos resultados deseables. También se ha ido desarrollando el hardware y software de la aplicación, probando por partes cada uno de los elementos a controlar. Una vez comprobado el funcionamiento de cada una de estas partes, se ha implementado el código que gobierna la secuencia de instrucciones que se deben ejecutar, en función de las entradas proporcionadas por el usuario.
- En cuanto a los objetivos secundarios, se ha conseguido una interfaz fácilmente manejable gracias a la pantalla LCD y al menú comentado anteriormente. Tiene capacidad de mostrar 2 filas de 16 caracteres cada una. Resulta ser capacidad suficiente para indicar mediante palabras qué parte de código se está ejecutando, e introducir los controles deseados por el usuario.
- También se ha conseguido un tamaño adecuado del conjunto: 400 x 150 x 200 mm aproximadamente. Estas dimensiones permitirán un manejo y transporte cómodo cuando se complete el dispositivo: se añade carcasa y se realice una PCB para sustituir el cableado inestable, entre otros.
- Finalmente, se ha cumplimentado la documentación necesaria para permitir la continuidad de este proyecto en el futuro, proporcionando

información detallada sobre los procesos y las soluciones implementadas: esquemas electrónicos, listados y descripción de componentes, código de programación y planos de fabricación. Todo ello ha quedado reflejado en los anexos y en los apartados técnicos de la presente memoria.

- Este proyecto, ha servido de base para la redacción del artículo número 682 que se publicará en el mes de septiembre en las XLIV Jornadas de Automática, bajo el título *Diseño de un robot para envolver pastillas de jabón*. Los autores de dicho artículo son Eduardo Moya de la Torre, Alberto Herreros López y Elisa Marcos Delgado.

A nivel personal, este proyecto me ha aportado conocimientos nuevos, sobre todo en el ámbito del diseño mecánico. No contaba con competencias de desarrollo de piezas para su fabricación, ni de impresión 3D. Gracias al tiempo empleado en aprender el programa Fusión 360° he conseguido diseñar piezas propias y he visto la amplitud de posibilidades que ello ofrece.

Por otro lado, el realizar un prototipo físicamente, me ha aportado gran motivación y resiliencia. En casi todas las etapas, las piezas, una vez fabricadas, han requerido un cierto perfeccionamiento, ya que en el diseño teórico resulta difícil predecir el comportamiento de todos los elementos.

7.2. Líneas futuras

Gracias a esto, se plantean líneas futuras como son:

- Desarrollo de un funcionamiento automático, capaz de seguir la secuencia de movimientos definida hasta completar el envoltorio. Para desarrollar este planteamiento, será necesario incluir sensores que permitan conocer con relativa precisión la posición del jabón en cada momento. Puede tratarse de un encóder, sensores ópticos o sensores de ultrasonidos, entre otros.
También resultaría interesante contar con cierta flexibilidad en la velocidad de ejecución del proceso completo.
- En cuanto a la envolvente, si se desea que el prototipo sea completamente funcional, será necesario diseñar una carcasa que proteja el interior donde se encuentra la electrónica y todos los componentes mecánicos impresos en 3D.
- Por otro lado, el manejo cómodo de los motores que permite esta solución resultará apropiado para, posteriormente, ajustar con precisión cada movimiento ejecutado. De esta forma, se conseguirán mejores resultados entre jabones de tamaños dispares.
- En último lugar, de cara a un planteamiento ideal, otra de las líneas de trabajo futuro sería conseguir automatizar por completo el proceso. Para ello, no debería ser necesario colocar el papel y el jabón uno a uno cada vez que se desea envolver una pastilla. Lo ideal sería colocar una pila de jabones y papeles, y que automáticamente se coloquen uno a uno en su

posición inicial. También, al terminar el proceso, el jabón debería salir del manipulador y apilarse de forma automática.

CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. M. Ibáñez de Aldecoa Quintana, «Niveles de madurez de la tecnología,» vol. 393, nº 0422-2784, pp. 165-171, 2014.
- [2] M. C. Villagarcía, «Diseño de robots flexibles mediante neumática de baja presión,» Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales, Valladolid, 2021.
- [3] D. Holmes, «Grasping with kirigami shells,» *Science Robotics*, vol. 6, nº 54, 2021.
- [4] A. Misiego López, «Control de robots autónomos mediante microcontrolador Arduino,» Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales, Valladolid, 2015.
- [5] G. Staples, «aladuino,» 21 junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.aladuino.com.mx/blog/limites-de-voltaje-corriente-y-alimentacion-del-arduino/>. [Último acceso: 15 mayo 2023].
- [6] «Bafu packaging,» [En línea]. Available: http://www.bafupackaging.com/Espa_proshow.aspx?id=19. [Último acceso: 11 05 2023].
- [7] «ACMA,» [En línea]. Available: <https://www.acma.it/en/solutions/product/sw-550-z>. [Último acceso: 11 05 2023].
- [8] «Lekkerkerker,» [En línea]. Available: <https://lekkerkerker.es/maquinas/envasado-de-mantequilla-margarina>. [Último acceso: 05 11 2023].
- [9] A. Pérez París, «Motores paso a paso, introducción a su funcionamiento y control en lazo abierto,» *Revista de Comunicación Vivat Academia*, vol. III, nº 17, Julio 2000.
- [10] F. Sánchez Tembleque, S. Alvariño, R. Couto y Manuel, «bricolabs.cc,» 16 Abril 2021. [En línea]. Available: https://bricolabs.cc/wiki/guias/control_de_motores.
- [11] «Autodesk,» [En línea]. Available: <https://www.autodesk.es/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>. [Último acceso: 25 06 2023].
- [12] «Ultimaker Cura,» [En línea]. Available: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>. [Último acceso: 25 06 2023].
- [13] «Simply Print,» [En línea]. Available: <https://simplyprint.io/>. [Último acceso: 25 06 2023].

- [14] «Kicad,» [En línea]. Available: <https://www.kicad.org/>. [Último acceso: 25 06 2023].
- [15] «Visual Studio,» [En línea]. Available: <https://code.visualstudio.com/>. [Último acceso: 25 06 2023].
- [16] D. I. García, «Prototipado y control de una mano protésica de bajo coste,» Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales., Valladolid, 2022.
- [17] L. Llamas, «www.luisllamas.es,» 6 Agosto 2016. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/tipos-motores-rotativos-proyectos-arduino/>. [Último acceso: 15 Marzo 2023].
- [18] «Talent,» [En línea]. Available: <https://es.talent.com/salary?job=ingeniero>. [Último acceso: 24 06 2023].
- [19] «Arduino,» 11 abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/hardware#boards-1>. [Último acceso: 13 mayo 2023].
- [20] J. Damián, «Electrogeek,» 22 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.electrogeekshop.com/tutorial-conectando-una-pantalla-lcd-1602a-a-arduino-uno/>. [Último acceso: 09 Junio 2023].

ANEXOS

A continuación, se listan los anexos elaborados en la presente memoria:

ANEXO A Cálculos de diseño de la plataforma elevadora de tijera

ANEXO B Pruebas experimentales a los motores paso a paso

ANEXO C Procedimiento de impresión 3D

ANEXO D Código de programación

ANEXO E Circuito electrónico

ANEXO F Hojas de características

ANEXO G Planos mecánicos

A) Cálculos de diseño de la plataforma elevadora de tijera

Para realizar el movimiento del jabón en el eje Y, se ha planteado utilizar una plataforma de elevación de tijera, similar a la que puede verse en la Figura 58.

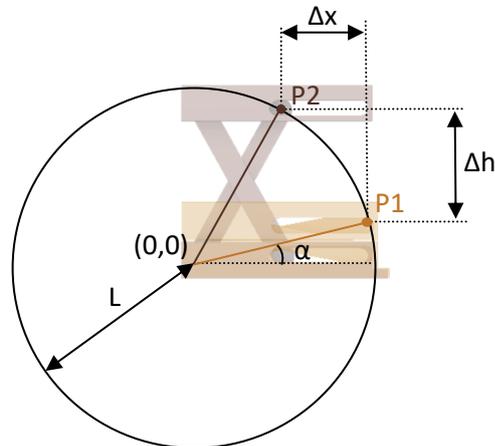


Figura 115. Diseño plataforma elevadora.

Ecuación circunferencia:

Centro circunferencia = (h, k)

Punto en la circunferencia P = (x, y)

Radio = r

$$(x - h)^2 + (y - k)^2 = r^2$$

$$P1 = (x1, y1) = (L \cdot \cos(\alpha), L \cdot \sin(\alpha))$$

$$P2 = (x2, y2) = (x1 - \Delta x, y1 + \Delta h) = (L \cdot \cos(\alpha) - \Delta x, L \cdot \sin(\alpha) + \Delta h)$$

Aplicando la ecuación de la circunferencia para centro en (0, 0) y para el punto P2:

$$x^2 + y^2 = L^2$$

$$(L \cdot \cos(\alpha) - \Delta x)^2 + (L \cdot \sin(\alpha) + \Delta h)^2 = L^2$$

$$2L(\Delta h \cdot \sin(\alpha) - \Delta x \cdot \cos(\alpha)) + (\Delta x)^2 + (\Delta h)^2 = 0$$

La plataforma debe ser de menor tamaño que la pastilla de jabón. Se han decidido unas dimensiones de 50x35 mm.

En función de dichas dimensiones, se han elegido los siguientes parámetros:



5. Los eslabones de la tijera que sube la plataforma, en la posición más baja, se encontrarán a 11° de la superficie horizontal ($\alpha = 11^\circ$) y tendrán una longitud de 44 mm ($L = 44$ mm).
6. La ranura que recorren los eslabones tendrá una longitud de 22 mm ($\Delta x = 22$ mm).

Para estos datos, el incremento de altura por eslabón que se consigue con la tijera es de:

$$2 \cdot 44(\Delta h \cdot \text{sen}(11) - 22 \cdot \text{cos}(11)) + 22^2 + (\Delta h)^2 = 0$$

$$(\Delta h)^2 + 16.79\Delta h - 1416.43 = 0$$

$$(\Delta h)^2 + 16.79\Delta h - 1416.43 = 0$$

$$\Delta h = 30.17 \text{ mm}$$

Este resultado es el incremento de altura que se produce con un solo par de eslabones en la tijera. En función de la altura necesaria a alcanzar, será preciso añadir más eslabones.

B) Pruebas experimentales a los motores paso a paso

Para la realización del prototipo, se ha planteado reutilizar motores paso a paso procedentes de otros dispositivos como impresoras y escáneres. El principal problema que se plantea es que, en ocasiones, este tipo de motores se fabrican específicamente para el material comercial que hará uso de ellos, y por tanto no están disponibles las hojas de datos de los modelos.

Para entender su funcionamiento y conexionado, es fundamental identificar si se trata de un motor unipolar o bipolar e identificar cada cable de conexión.

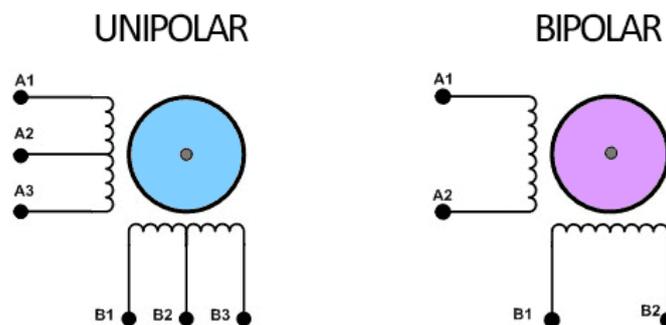


Figura 116. Conexiones motores unipolares y bipolares.

Este tipo de motores está compuesto por un estátor con dos bobinas desfasadas 90° y un rotor formado por un imán permanente. Mediante un procesador, se activan las bobinas secuencialmente y el imán del rotor va cambiando su orientación.

Los motores paso a paso unipolares, tienen cada una de las bobinas divididas en dos, y cuentan con 5 o 6 conductores dependiendo de si el terminal intermedio es o no común para las dos bobinas. Si se utiliza solamente media bobina, tendrá menor potencia que el bipolar, pero no será necesario invertir la corriente para cambiar el sentido de giro del motor.

Para comprender los motores disponibles, se ha medido la resistencia entre cada conductor sin conectar el motor. Así se puede comprobar cuál es cada bobina y si se trata de un motor unipolar o bipolar.

- **STH-46D004**



Figura 117. Motor STH-46D004

En este caso, se trata de un motor bipolar. Las bobinas tienen una resistencia de 160Ω aproximadamente. Como se puede apreciar en las medidas (Figura 119), una de las bobinas está comprendida entre los conectores rojo y azul y la otra entre el amarillo y blanco.

Con el modo de medir continuidad seleccionado en el multímetro, se puede ver que no hay ningún mal contacto entre bobinas.

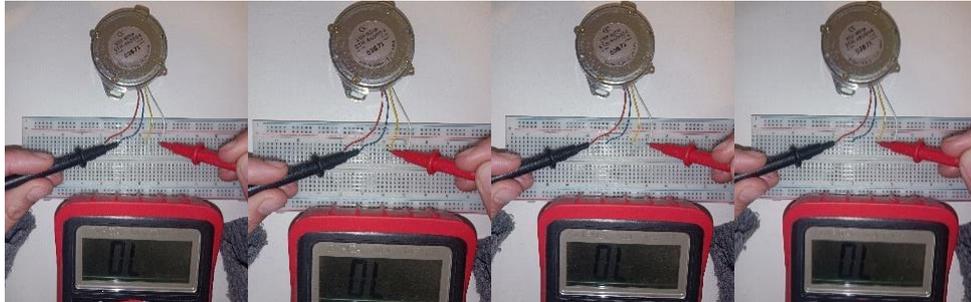


Figura 118. Comprobación de la inexistencia de contactos entre distintas bobinas. Motor STH-46D004.

En las figuras a continuación, se muestran las medidas de las resistencias tomadas con el multímetro:

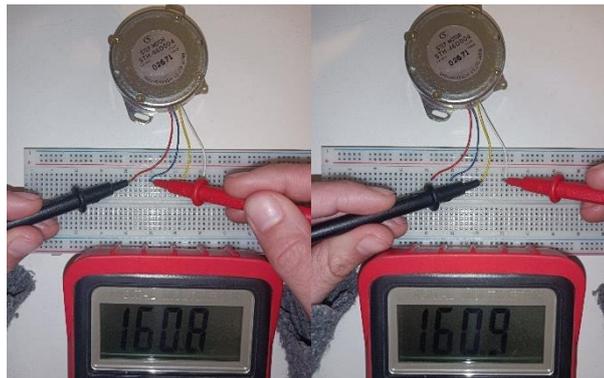


Figura 119. Resistencia equivalente entre patillas de cada bobina del motor. Motor STH-46D004.

Se ha probado a controlar el motor mediante Arduino y cumple las prestaciones necesarias para la aplicación. La velocidad máxima alcanzada es de 320 rpm aproximadamente. A partir de este valor, se producen cambios rápidos de sentido de giro. Esto se debe a que el motor no es capaz de reaccionar lo suficientemente rápido para moverse con precisión a cada paso individual. Puede ocurrir una "pérdida de pasos".

- **M42SP-6TB**



Figura 120. Motor M42SP-6TB.

En las imágenes siguientes se aprecian las medidas de resistencia entre conectores que han sido tomadas. En este caso la resistencia es de 11Ω y tampoco hay bobinas comunicadas.

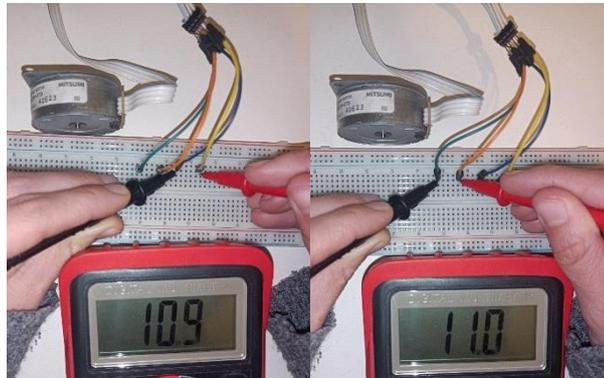


Figura 121. Resistencia equivalente entre patillas de cada bobina del motor. Motor M42SP-6TB.

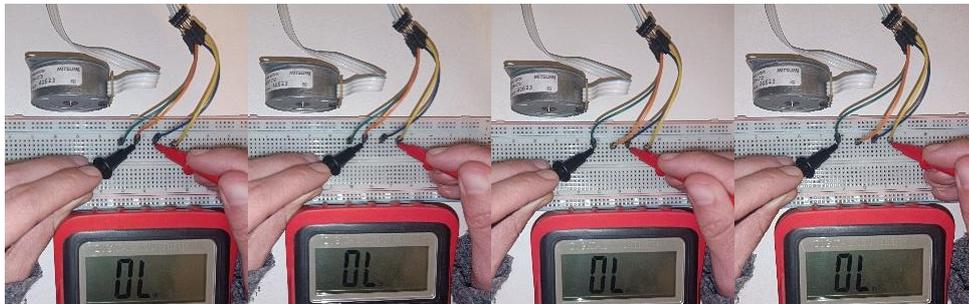


Figura 122. Comprobación de la inexistencia de contactos entre distintas bobinas. Motor M42SP-6TB.

En este motor, sin embargo, a partir de una velocidad muy reducida se percibe un aumento de temperatura considerable, por lo que no resulta apropiado para el proyecto.

- **SLC-42D003**



Figura 123. Motor SLC-42D003.

La resistencia de las bobinas de este motor es de 13Ω aproximadamente. También se puede ver que no hay fallos de contacto entre ellas.

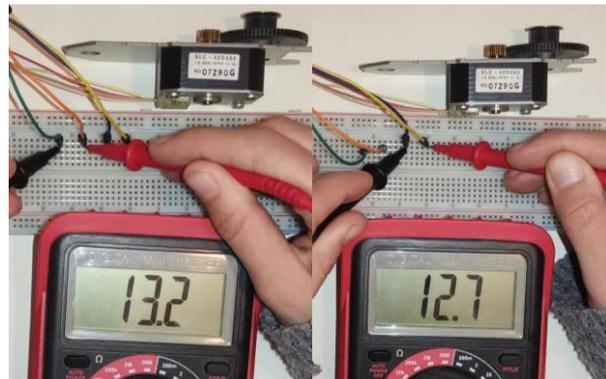


Figura 124. Resistencia equivalente entre patillas de cada bobina del motor. Motor SLC-42D003.

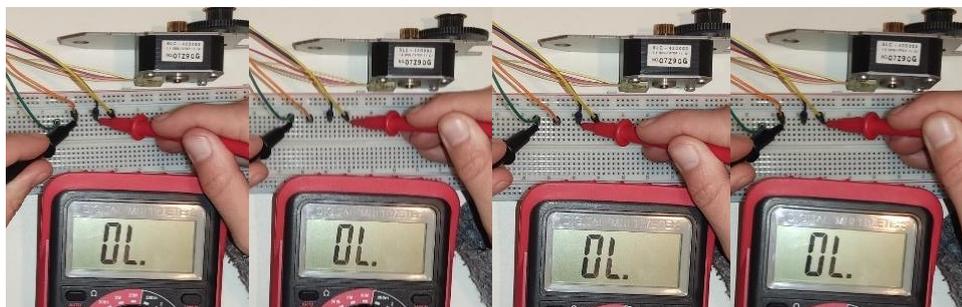


Figura 125. Comprobación de la inexistencia de contactos entre distintas bobinas. Motor SLC-42D003.

La velocidad máxima que alcanza es también de 320 rpm aproximadamente, pero en este caso lleva una reductora acoplada. Dicho mecanismo reduce la velocidad final y aumenta el par. Para esta aplicación no es necesario.

- **28BYJ-48**



Figura 126. Motor 28BYJ-48.

De este modelo sí se ha encontrado la hoja de características. En ella se indican las conexiones y las características técnicas:

Rated voltage :	5VDC
Number of Phase	4
Speed Variation Ratio	1/64
Stride Angle	5.625°/64
Frequency	100Hz
DC resistance	50Ω±7%(25°C)
Idle In-traction Frequency	> 600Hz
Idle Out-traction Frequency	> 1000Hz
In-traction Torque	>34.3mN.m(120Hz)
Self-positioning Torque	>34.3mN.m
Friction torque	600-1200 gf.cm
Pull in torque	300 gf.cm
Insulated resistance	>10MΩ(500V)
Insulated electricity power	600VAC/1mA/1s
Insulation grade	A
Rise in Temperature	<40K(120Hz)
Noise	<35dB(120Hz,No load,10cm)
Model	28BYJ-48 – 5V

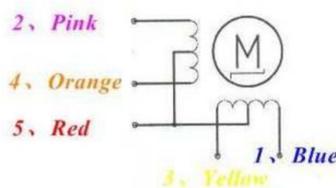


Figura 127. Características técnicas motor 28BYJ-48.

Como se muestra, cuenta con una reductora acoplada (1/64), por lo que tampoco resulta apropiado para la aplicación.

- **M42SP-5TA**



Figura 128. Motor M42SP-5TA.

De este modelo también se ha encontrado datasheet. Estas son sus características:

Items	M42SP-5	
	DC 12V	DC 24V
Rated Voltage	DC 12V	DC 24V
Working Voltage	DC 10.8-13.2V	DC 21.6-26.4V
Rated Current/Phase	259mA	216mA
No. of Phase	4 Phase	4 Phase
Coil DC Resistance	50Ω/phase±7%	120Ω/phase±7%
Step Angle	7.5°/step	7.5°/step
Excitation Method	2-2 Phase excitation (Unipolar driving)	
Insulation Class	Class E insulation	Class E insulation
Holding Torque	78.4mN-m	94.1mN-m
Pull-out Torque	27.6mN-m/200pps	46.1mN-m/200pps
Pull-in Torque	26.5mN-m/200pps	45.6mN-m/200pps
Max. Pull-out Pulse Rate	375pps	445pps
Max. Pull-in Pulse Rate	365pps	435pps

Figura 129. Características técnicas motor M42SP-5TA.

C) Procedimiento de impresión 3D

A continuación, se detalla el procedimiento a seguir para imprimir las distintas piezas que conforman la maqueta del proyecto.

Creación del archivo STL

1. Se parte de un cuerpo diseñado en el programa Fusion 360. Se selecciona el cuerpo a imprimir, el formato STL, las unidades y el nivel de refinado (en este proyecto se ha utilizado el nivel alto, ya que la mayoría de las piezas son de pequeño tamaño). En la figura a continuación puede verse el menú con los datos mencionados.

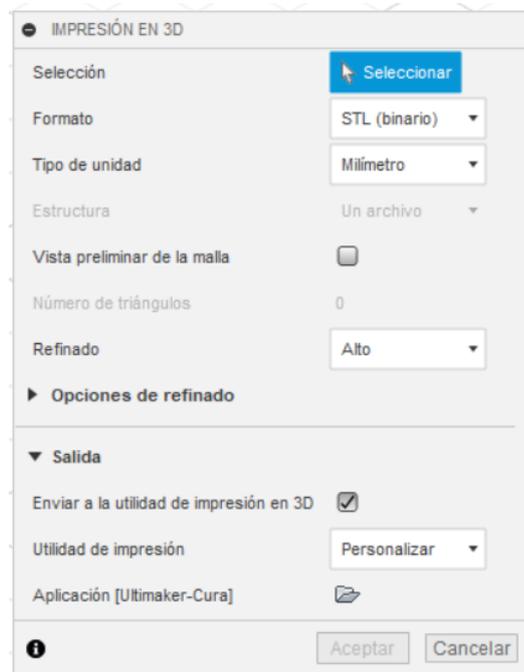


Figura 130. Menú de impresión 3D Fusion 360.

2. Para configurar los parámetros de impresión, se ha utilizado la aplicación Ultimaker-Cura.
 - a. En primer lugar, al importar la pieza, se debe elegir la cara inferior (que quedará pegada a la cama de impresión). En la Figura 131 se muestra el menú que permite realizarlo. Esta cara se elegirá en función de la geometría del diseño. Se elegirá la superficie plana más grande que puede estar en contacto con la cama sin necesidad de soportes.

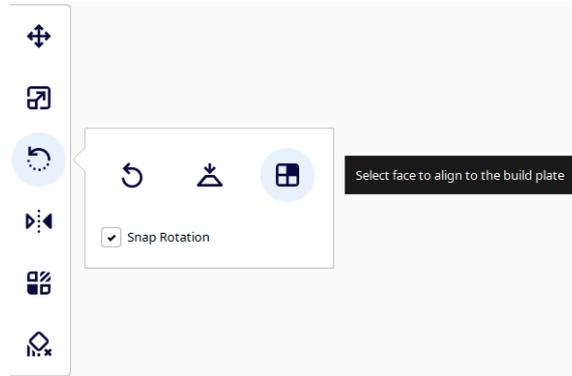


Figura 131. Selección de cara inferior.

Center Selected	
Delete Selected	Suprimir
Multiply Selected	Control+M
Select All Models	Control+A
Arrange All Models	Control+R
Clear Build Plate	Control+D
Reload All Models	F5
Reset All Model Positions	
Reset All Model Transformations	
Group Models	Control+G
Merge Models	Control+Alt+G
Ungroup Models	Control+Mayúsculas+G

Figura 132. Centrado de la pieza en la cama de impresión.

- b. A continuación, se establecen los parámetros de impresión en función del material y la pieza. Se ha prestado especial atención en los siguientes parámetros:
- i. *Layer Height* (Figura 133). Para piezas que requieren gran precisión, este parámetro se ha modificado a valores bajos como 0.1 mm o 0.2 mm. Sin embargo, para piezas en las que se prima el menor tiempo de impresión frente a la resolución final, se ha optado por valores de 0.4 mm o 0.5 mm.
 - ii. *Infill density* (Figura 136). Si la aplicación requiere que el resultado sea robusto, la densidad del relleno debe ser elevada, mientras que si no va a soportar mucha carga se puede reducir para conseguir gastar menos material y tiempo de impresión.
 - iii. *Infill pattern* (Figura 136). El patrón del relleno se ha elegido en función de la geometría de la pieza, tratando siempre de que el relleno quede uniformemente repartido en su interior.

- iv. *Printing temperature* (Figura 137). Este parámetro depende del material de impresión. En este proyecto se ha utilizado PLA y TPU. Para el PLA se han configurado valores en torno a 195°, y para el TPU es necesario subir este número al menos a 220°.
- v. *Print speed* (Figura 138). Este parámetro también se ha modificado en función del material. El PLA admite mayores velocidades (70 mm/s), pero el TPU debe mantenerse en torno a 20 mm/s.
- vi. *Generate support* (Figura 141). Si la geometría de la pieza deja partes flotantes, se deben añadir soportes que sustenten ese material durante la impresión. Posteriormente se eliminan mediante el uso de pinzas o pequeños alicates.

 Quality ▼			
Layer Height	 	0.2	mm
Initial Layer Height		0.3	mm
Line Width		0.4	mm
Wall Line Width		0.4	mm
Outer Wall Line Width		0.4	mm
Inner Wall(s) Line Width		0.4	mm
Top/Bottom Line Width		0.4	mm
Infill Line Width		0.4	mm
Initial Layer Line Width		100.0	%

Figura 133. Parámetros de calidad.

 Walls ▼		
Wall Thickness		0.8 mm
Wall Line Count		2
Optimize Wall Printing Order	<input checked="" type="checkbox"/>	
Horizontal Expansion		0.0 mm

Figura 134. Parámetros de las paredes.

Top/Bottom		
Top/Bottom Thickness	0.9	mm
Top Thickness	0.9	mm
Top Layers	5	
Bottom Thickness	0.9	mm
Bottom Layers	5	
Monotonic Top/Bottom Order	<input type="checkbox"/>	
Enable Ironing	<input type="checkbox"/>	

Figura 135. Parámetros de las superficies superior e inferior.

Infill		
Infill Density	 20.0	%
Infill Line Distance	2.0	mm
Infill Pattern	 f_x Lines	▼
Infill Line Multiplier	1	
Infill Overlap Percentage	30.0	%
Infill Layer Thickness	0.2	mm
Gradual Infill Steps	0	

Figura 136. Parámetros del relleno.

Material		
Printing Temperature	 f_x 200.0	°C
Printing Temperature Initial Layer	200.0	°C
Initial Printing Temperature	200.0	°C
Final Printing Temperature	200.0	°C
Build Plate Temperature	  60.0	°C
Build Plate Temperature Initial Layer	 60	°C

Figura 137. Parámetros del material.

Speed ▼

Print Speed		70.0	mm/s
Infill Speed	 f_x	100.0	mm/s
Wall Speed		35.0	mm/s
Outer Wall Speed		35.0	mm/s
Inner Wall Speed		35.0	mm/s
Top/Bottom Speed		35.0	mm/s
Travel Speed		175.0	mm/s
Initial Layer Speed		35.0	mm/s
Skirt/Brim Speed		35.0	mm/s
Enable Acceleration Control		<input checked="" type="checkbox"/>	
Enable Jerk Control		<input type="checkbox"/>	

Figura 138. Parámetros de velocidad.

Travel ▼

Enable Retraction	<input checked="" type="checkbox"/>		
Retract at Layer Change	<input type="checkbox"/>		
Retraction Distance		6.5	mm
Retraction Speed		25.0	mm/s
Combing Mode		Not in Skin	▼
Avoid Printed Parts When Traveling	<input checked="" type="checkbox"/>		
Avoid Supports When Traveling	<input checked="" type="checkbox"/>		
Travel Avoid Distance		0.625	mm
Z Hop When Retracted	<input type="checkbox"/>		

Figura 139. Parámetros de recorrido.

Cooling ▼

Enable Print Cooling	<input checked="" type="checkbox"/>
Fan Speed	100.0 %
Regular Fan Speed	100.0 %
Maximum Fan Speed	100.0 %
Regular/Maximum Fan Speed Threshold	10.0 s
Initial Fan Speed	0.0 %
Regular Fan Speed at Height	0.7 mm
Regular Fan Speed at Layer	3
Minimum Layer Time	10.0 s
Minimum Speed	10.0 mm/s
Lift Head	<input type="checkbox"/>

Figura 140. Parámetros de refrigeración.

Support ▼

Generate Support	  <input checked="" type="checkbox"/>
Support Structure	 Normal ▼
Support Placement	 Everywhere ▼
Support Overhang Angle	 50.0 °
Support Pattern	 Zig Zag ▼
Support Density	 15.0 %
Support Horizontal Expansion	 0.0 mm
Support Infill Layer Thickness	 0.2 mm
Gradual Support Infill Steps	 0
Enable Support Interface	 <input type="checkbox"/>
Enable Support Roof	 <input type="checkbox"/>
Enable Support Floor	 <input type="checkbox"/>

Figura 141. Parámetros de soportes.

Build Plate Adhesion ▼

Build Plate Adhesion Type	  Skirt ▼
Skirt Line Count	  2

Figura 142. Parámetros de adhesión a la cama.

- c. Una vez definidos todos los parámetros, se puede previsualizar el resultado y guardar el archivo STL.

Envío del archivo a la impresora

La impresora utilizada es el modelo Anet A8. Controlada con una Raspberry Pi4, permite su conexión a la red Wifi y su control mediante un ordenador conectado a esa misma red.

Para enviar archivos a la impresora, se ha utilizado una aplicación online llamada *Simply Print*. En ella existe un repositorio donde se pueden guardar archivos y seleccionarlos para su impresión. También tiene controles básicos de temperatura y movimientos en los tres ejes.

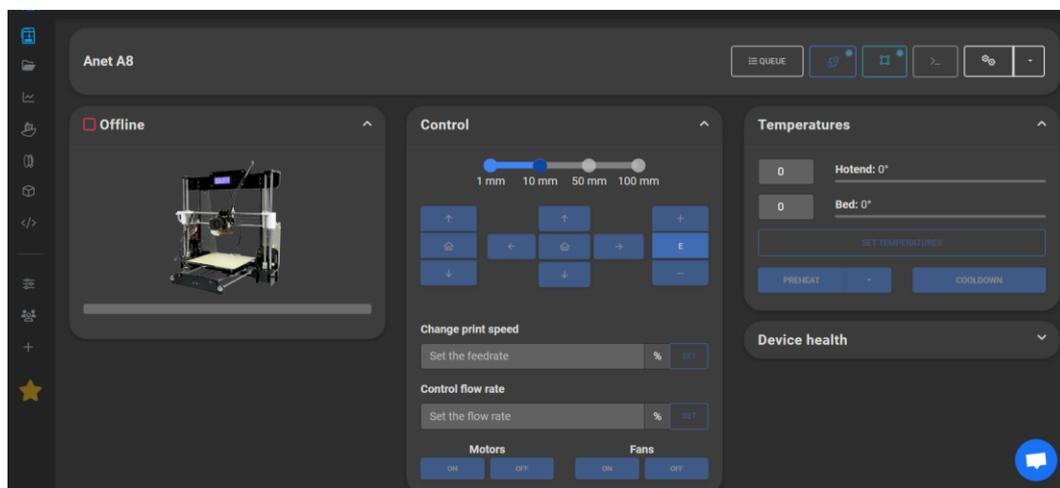


Figura 143. Aplicación online *Simply Print*.

Preparación de la impresora

1. Nivelación de la cama. Con ayuda del menú de la propia impresora, se debe ajustar la cama de impresión para que quede a la misma altura en todos sus puntos. Para establecer la altura se ha aplicado el método del papel. Colocando un folio estándar (grosor de ≈ 0.1 mm) entre el extrusor y la cama, en todo momento debe poderse mover sin quedar demasiado justo.
2. Por último, con la impresora precalentada, se carga el filamento.

Finalización de la impresión

1. No se debe retirar la pieza cuando la cama de impresión se encuentra aún muy caliente, ya que es posible deformarla. Una vez se ha enfriado, se retira la pieza con ayuda de una espátula.

2. Si se ha fabricado soportes, se procede a su eliminación mediante pinzas o alicates.
3. Por último, se comprueban con un calibre las medidas finales de la pieza.

D) Código de programación

A continuación, se muestra el código de programación desarrollado para este proyecto.

```
#include <Arduino.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Servo.h>
#include <Stepper.h>

void move_motor_auto(void);
void move_motor_manual(int);
void move_servo(Servo servo, int starting_degrees, int end_degrees);
void home(void);

// Display LCD
int rs = 40;
int en = 37;
int d4 = 41;
int d5 = 38;
int d6 = 39;
int d7 = 36;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7); //LyquidCrystal type
object

// Stepper motor
const int stepsPerRevolution = 200;
Stepper stepper(stepsPerRevolution,50,51,52,53);

//Servos
Servo servo1, servo2, servo3, servo4;

//Pinout
const int enter_pin = 44;
const int forward_pin = 45;
const int backward_pin = 46;

//Global variables
bool mode = LOW; // 0 = manual, 1 = auto
int motor_to_be_controlled = 1;
int pos_servo1 = 180;
int pos_servo2 = 180;
int pos_servo3 = 180;
int pos_servo4 = 180;

void setup() {
```

```
Serial.begin(115200);

pinMode(enter_pin, INPUT);
pinMode(forward_pin, INPUT);
pinMode(backward_pin, INPUT);

servo1.attach(22, 20, 170); //grande
servo2.attach(24, 70, 180); //peque
servo3.attach(26, 20, 170); //grande
servo4.attach(28, 70, 180); //peque

//Initialice LCD
lcd.begin(16, 2); //con el número de  columnas y filas del LCD
lcd.print("Iniciando...");

//The servos start at the maximum position for the parts to be
retracted.
//The mechanical assembly should be done in that position.
//When the servos move from 180 to 0 degrees, the parts advance by
folding the soap (move forward).
//From 0 to 180 degrees, the parts are retracted after completing
the folds (move backward).
servo1.write(180);
delay(100);
servo2.write(180);
delay(100);
servo3.write(180);
delay(100);
servo4.write(180);
delay(100);

stepper.setSpeed(80);

}

void loop() {

//////////////////////Operating mode////////////////////////////////////

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Modo funcionam.: ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("MANUAL");

while (digitalRead(enter_pin) == 0)
{
```

```
    if ((digitalRead(forward_pin) == HIGH) ||
(digitalRead(backward_pin) == HIGH)) {
        delay(50);
        mode = !mode;
        delay(200);

        if (mode == 0){
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(0,0);
            lcd.print("Modo funcionam.: ");
            lcd.setCursor(0,1);
            lcd.print("MANUAL");
        }
        else{
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(0,0);
            lcd.print("Modo funcionam.: ");
            lcd.setCursor(0,1);
            lcd.print("AUTOMATICO");
        }
    }
}

delay(500);

////////////////////Manual mode////////////////////////////////////
if (mode == 0){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Modo MANUAL ");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Control motor: 1");

    while (digitalRead(enter_pin) == 0)
    {
        if (digitalRead(forward_pin) == HIGH) {
            delay(50);
            motor_to_be_controlled ++;
            delay(200);
        }

        else if (digitalRead(backward_pin) == HIGH){
            delay(50);
            motor_to_be_controlled --;
            delay(200);
        }
    }
}
```



```
switch (motor_to_be_controlled)
{
case 1:
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Control motor: 1");
  break;

case 2:
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Control motor: 2");
  break;

case 3:
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Control motor: 3");
  break;

case 4:
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Control motor: 4");
  break;

case 5:
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Control motor: 5");
  break;

case 6: //Home
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Control: HOME  ");
  break;

default:
  if (motor_to_be_controlled >6) motor_to_be_controlled = 1;
  if (motor_to_be_controlled <0) motor_to_be_controlled = 6;

  break;
}
}

delay (300);

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Controlando");

switch (motor_to_be_controlled)
```

```
{
case 1:
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("MOTOR 1...");
  move_motor_manual(1);
  break;

case 2:
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("MOTOR 2...");
  move_motor_manual(2);
  break;

case 3:
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("MOTOR 3...");
  move_motor_manual(3);
  break;

case 4:
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("MOTOR 4...");
  move_motor_manual(4);
  break;

case 5:
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("MOTOR 5...");
  move_motor_manual(5);
  break;

case 6:
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("HOME  ...");
  home();
break;

default:
  break;
}

}

////////////////////////////////Automatic mode////////////////////////////////
else{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
```

```
    lcd.print("Modo AUTOMATICO ");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Ejecutando paso 1...");
}

delay(500);
}

//Functions

void move_servo(Servo servo, int starting_degrees, int
ending_degrees)
{
    if (starting_degrees > ending_degrees){
        for (int i = starting_degrees; i > ending_degrees; i--){
            servo.write(i);
            delay(10);
        }
    }
    else{
        for (int i = starting_degrees; i < ending_degrees; i++){
            servo.write(i);
            delay(10);
        }
    }
}

void home(void)
{
    move_servo(servo1, pos_servo1, 180);
    move_servo(servo2, pos_servo2, 180);
    move_servo(servo3, pos_servo3, 180);
    move_servo(servo4, pos_servo4, 180);
}

// This function allows the user to move a specific motor in both
directions
// while pressing the buttons "forward_pin" or "backward_pin"
respectively.
void move_motor_manual (int motor)
{
    //This function runs in a loop until the Enter button is pressed.
    Then the menu restarts.
    while (digitalRead(enter_pin) == 0){

        if (digitalRead(forward_pin) == HIGH) {
```



```
delay(50); // Add a delay to stabilize the signal.

while (digitalRead(forward_pin) == HIGH) {
  switch(motor)
  {
  case 1:
    move_servo(servo1, pos_servo1, pos_servo1 + 5);
    pos_servo1 = constrain(pos_servo1 + 5, 20, 170);
    lcd.setCursor(12,1);
    lcd.print(pos_servo1);
    break;

  case 2:
    move_servo(servo2, pos_servo2, pos_servo2 + 5);
    pos_servo2 = constrain(pos_servo2 + 5, 70, 180);
    lcd.setCursor(12,1);
    lcd.print(pos_servo2);
    break;

  case 3:
    move_servo(servo3, pos_servo3, pos_servo3 + 5);
    pos_servo3 = constrain(pos_servo3 + 5, 20, 170);
    lcd.setCursor(12,1);
    lcd.print(pos_servo3);
    break;

  case 4:
    move_servo(servo4, pos_servo4, pos_servo4 + 5);
    pos_servo4 = constrain(pos_servo4 + 5, 70, 180);
    lcd.setCursor(12,1);
    lcd.print(pos_servo4);
    break;

  case 5:
    stepper.step(-stepsPerRevolution/10);
    break;

  default:
    break;
  }

  delay(1);
}

else if (digitalRead(backward_pin) == HIGH) {
  delay(50); // Add a delay to stabilize the signal.
```



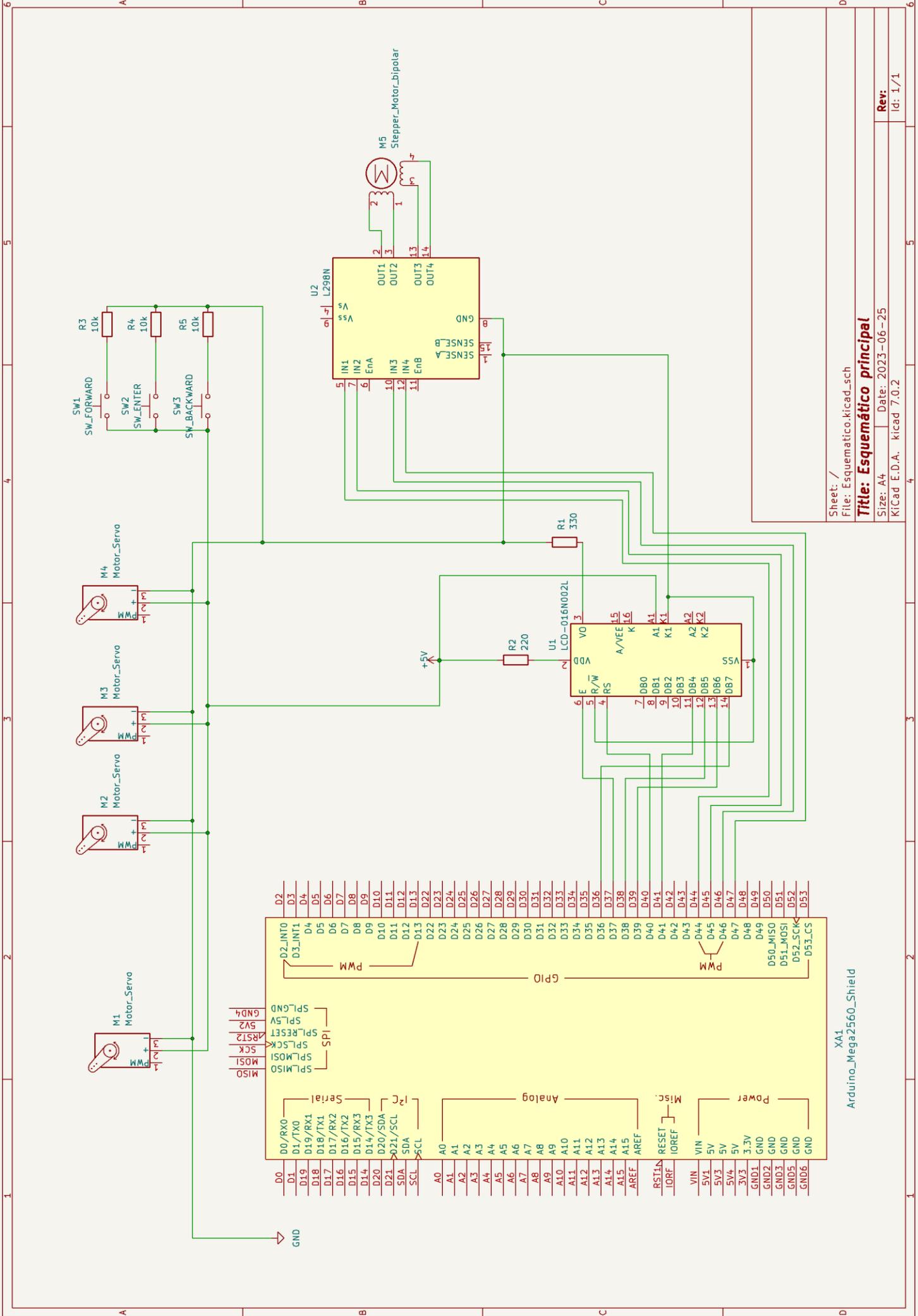
```
while (digitalRead(backward_pin) == HIGH) {  
  switch(motor)  
  {  
  case 1:  
    move_servo(servo1, pos_servo1, pos_servo1 - 5);  
    pos_servo1 = constrain(pos_servo1 - 5, 0, 180);  
    lcd.setCursor(12,1);  
    lcd.print(pos_servo1);  
    break;  
  
  case 2:  
    move_servo(servo2, pos_servo2, pos_servo2 - 5);  
    pos_servo2 = constrain(pos_servo2 - 5, 0, 180);  
    lcd.setCursor(12,1);  
    lcd.print(pos_servo2);  
    break;  
  
  case 3:  
    move_servo(servo3, pos_servo3, pos_servo3 - 5);  
    pos_servo3 = constrain(pos_servo3 - 5, 0, 180);  
    lcd.setCursor(12,1);  
    lcd.print(pos_servo3);  
    break;  
  
  case 4:  
    move_servo(servo4, pos_servo4, pos_servo4 - 5);  
    pos_servo4 = constrain(pos_servo4 - 5, 0, 180);  
    lcd.setCursor(12,1);  
    lcd.print(pos_servo4);  
    break;  
  
  case 5:  
    stepper.step(stepsPerRevolution/10);  
    break;  
  
  default:  
    break;  
  }  
}
```

```
void move_motor_auto(void) //Function that includes all the moves'  
sequency of the machine.
```

```
{  
  while (digitalRead(enter_pin) == false){  
    //Downward movement  
    stepper.step(stepsPerRevolution);  
  
    //Superior folds  
    move_servo(servo2, pos_servo2, pos_servo2 + 45);  
    move_servo(servo4, pos_servo4, pos_servo4 + 45);  
  
    move_servo(servo1, pos_servo1, pos_servo1 + 45);  
  
    move_servo(servo2, pos_servo2, pos_servo2 - 45);  
    move_servo(servo4, pos_servo4, pos_servo4 - 45);  
  
    move_servo(servo3, pos_servo3, pos_servo3 + 15);  
    move_servo(servo4, pos_servo4, pos_servo4 - 45);  
    move_servo(servo3, pos_servo3, pos_servo3 + 30);  
  
    //Downward movement  
    stepper.step(stepsPerRevolution);  
  }  
}
```

E) Circuito electrónico

En este anexo se encuentra el esquemático que refleja todas las conexiones entre los distintos componentes presentes en el diseño.



Sheet: /
 File: Esquemático.kicad_sch
Title: Esquemático principal
 Size: A4 | Date: 2023-06-25
 KiCad E.D.A. kicad 7.0.2

XA1
 Arduino_Mega2560_Shield

Rev:
 Id: 1/1

F) Hojas de características

Las hojas de características de los dispositivos comerciales consultadas en este proyecto se pueden visualizar en el archivo *TFG_02311_anejos.zip*.

G) Planos mecánicos

A continuación, se han incluido los planos mecánicos del diseño. Se clasifican en planos de conjunto, subconjunto y piezas. Además, se establece que los planos de diseño van encabezados con la letra P, mientras que los elementos comerciales con la letra C.

La estructura es la siguiente:

P1.00.00 – Plano de conjunto: Manipulador para envolver un jabón

P1.01.00 - Bloques de plegado

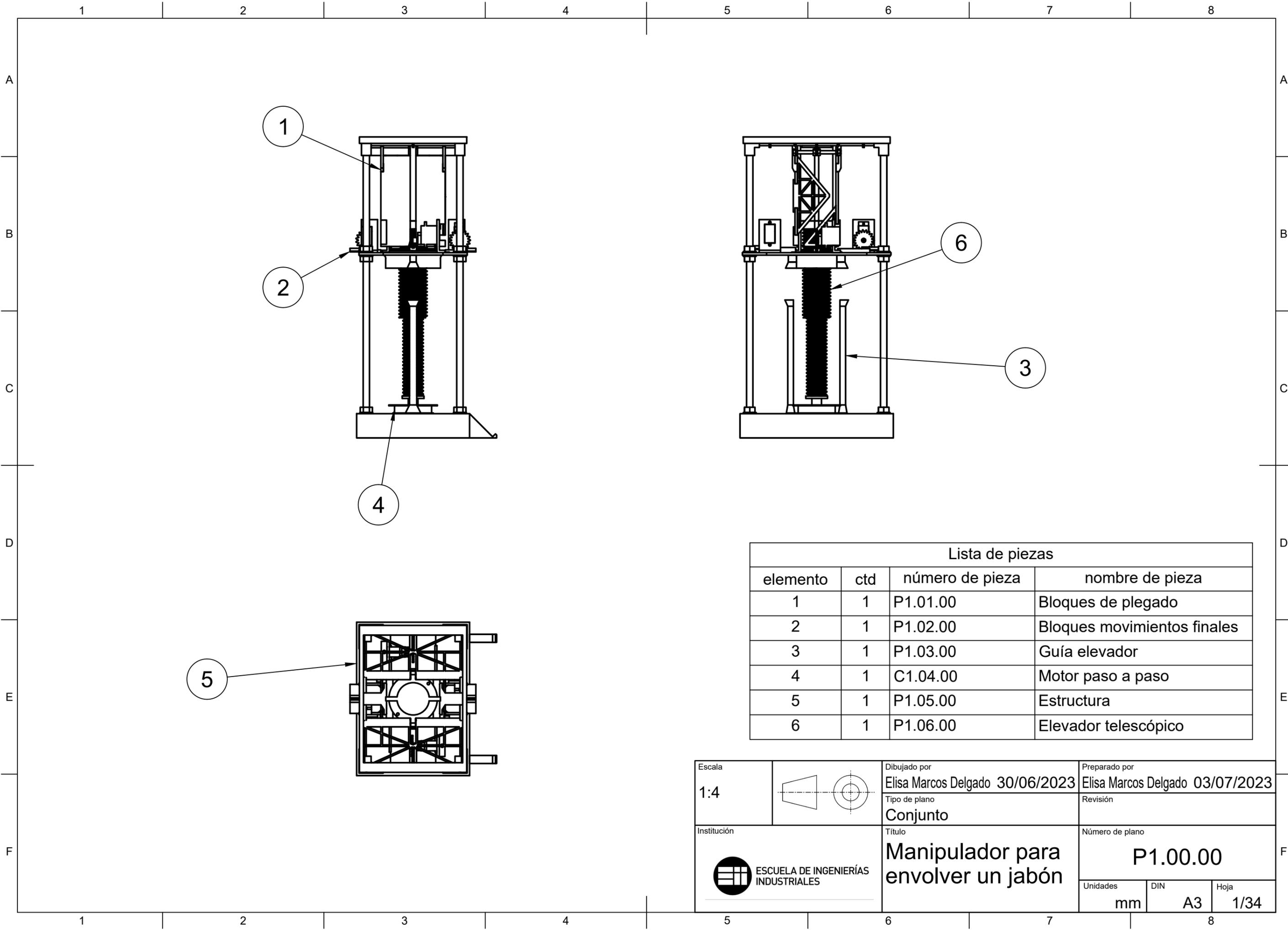
P1.02.00 - Bloques movimientos finales

P1.03.00 - Guía elevador

C1.04.00 - Motor paso a paso

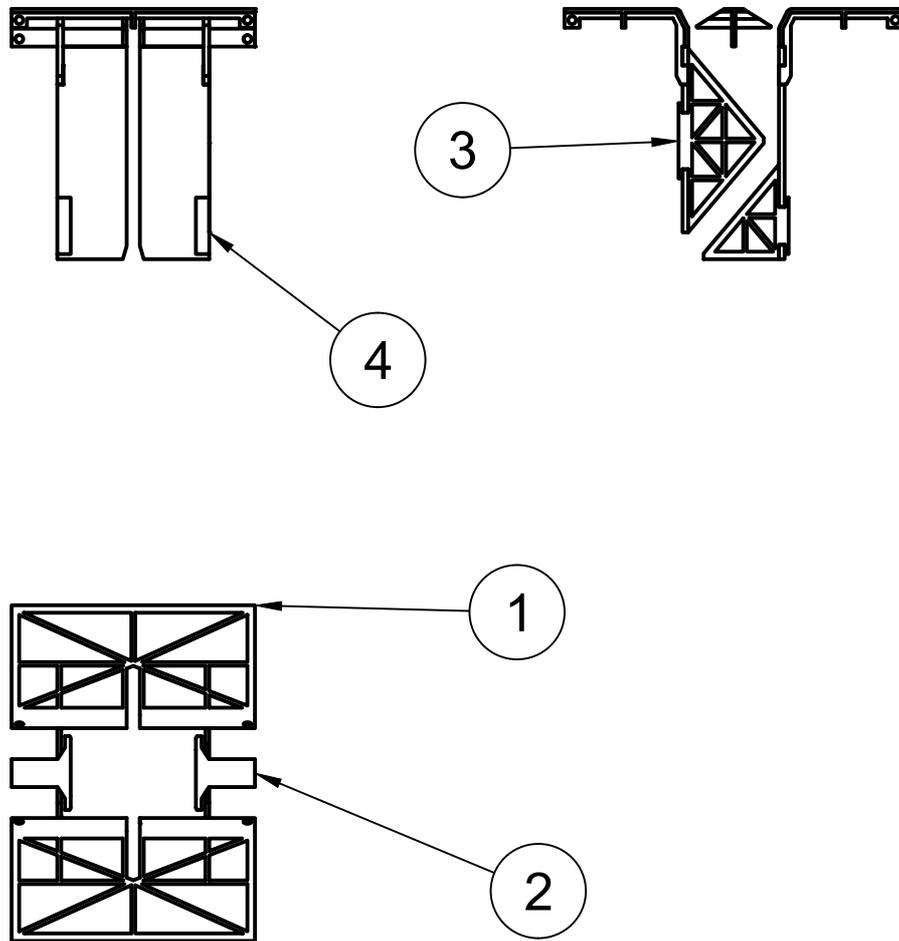
P1.05.00 - Estructura

P1.06.00 - Elevador telescópico



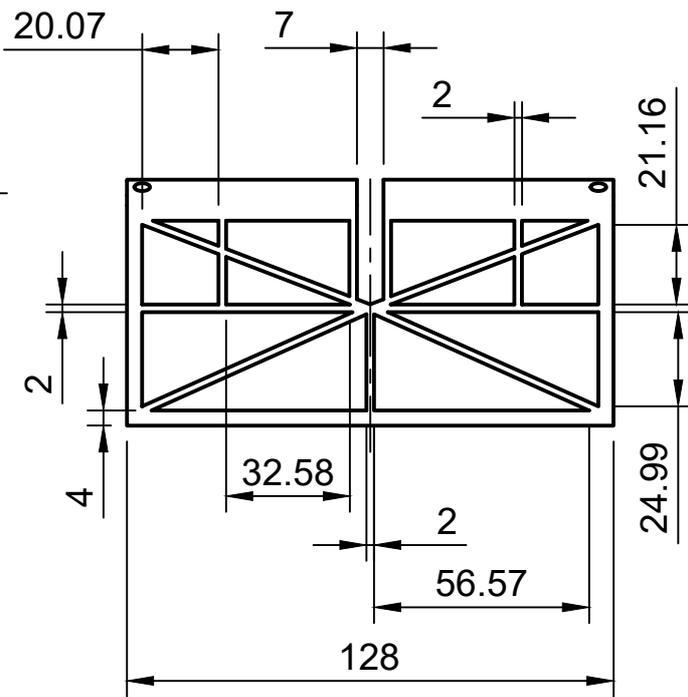
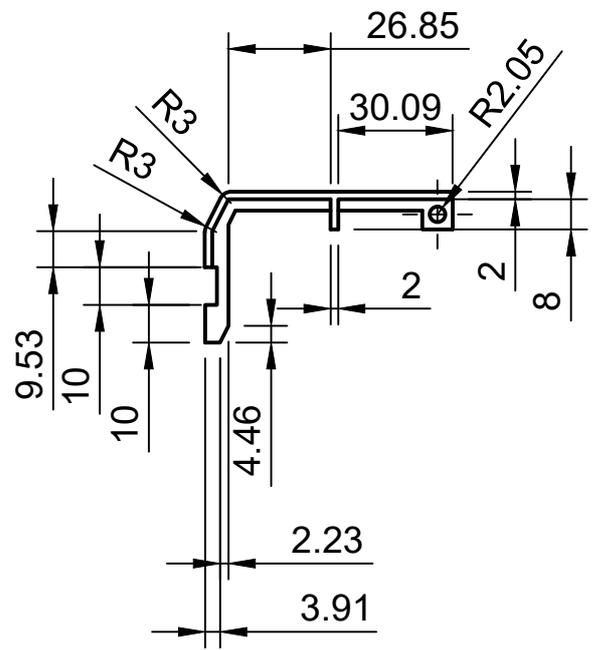
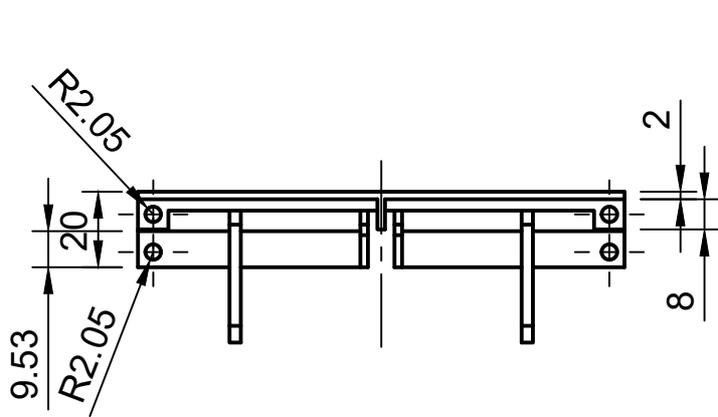
Lista de piezas			
elemento	ctd	número de pieza	nombre de pieza
1	1	P1.01.00	Bloques de plegado
2	1	P1.02.00	Bloques movimientos finales
3	1	P1.03.00	Guía elevador
4	1	C1.04.00	Motor paso a paso
5	1	P1.05.00	Estructura
6	1	P1.06.00	Elevador telescópico

Escala 1:4		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
		Tipo de plano Conjunto	Revisión
	Institución		Título
			Manipulador para envolver un jabón
			Número de plano P1.00.00
	Unidades mm	DIN A3	Hoja 1/34

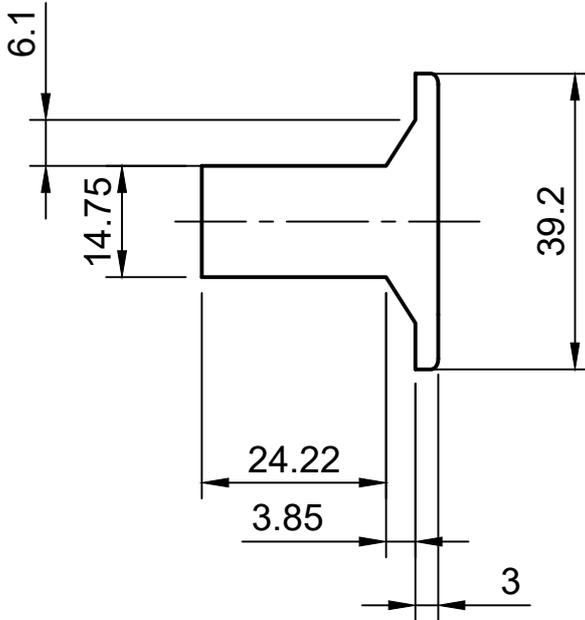
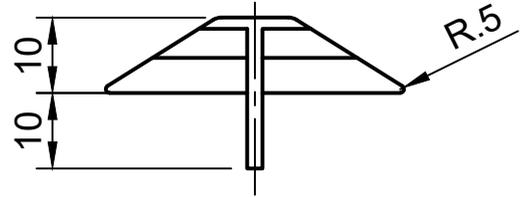
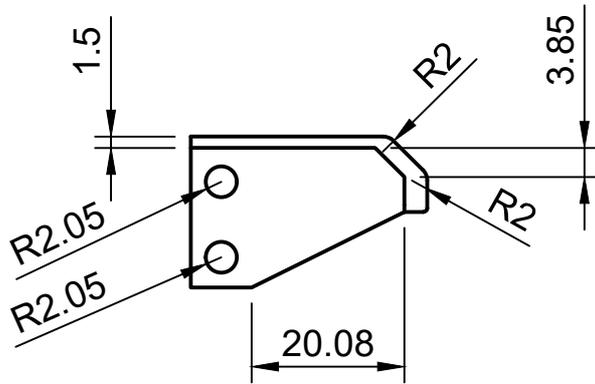


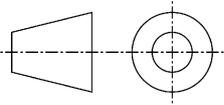
Lista de piezas			
elemento	ctd	número de pieza	nombre de pieza
1	2	P1.01.01	Bloque1
2	2	P1.01.02	Bloque2
3	1	P1.01.03	Bloque3
4	1	P1.01.04	Bloque4

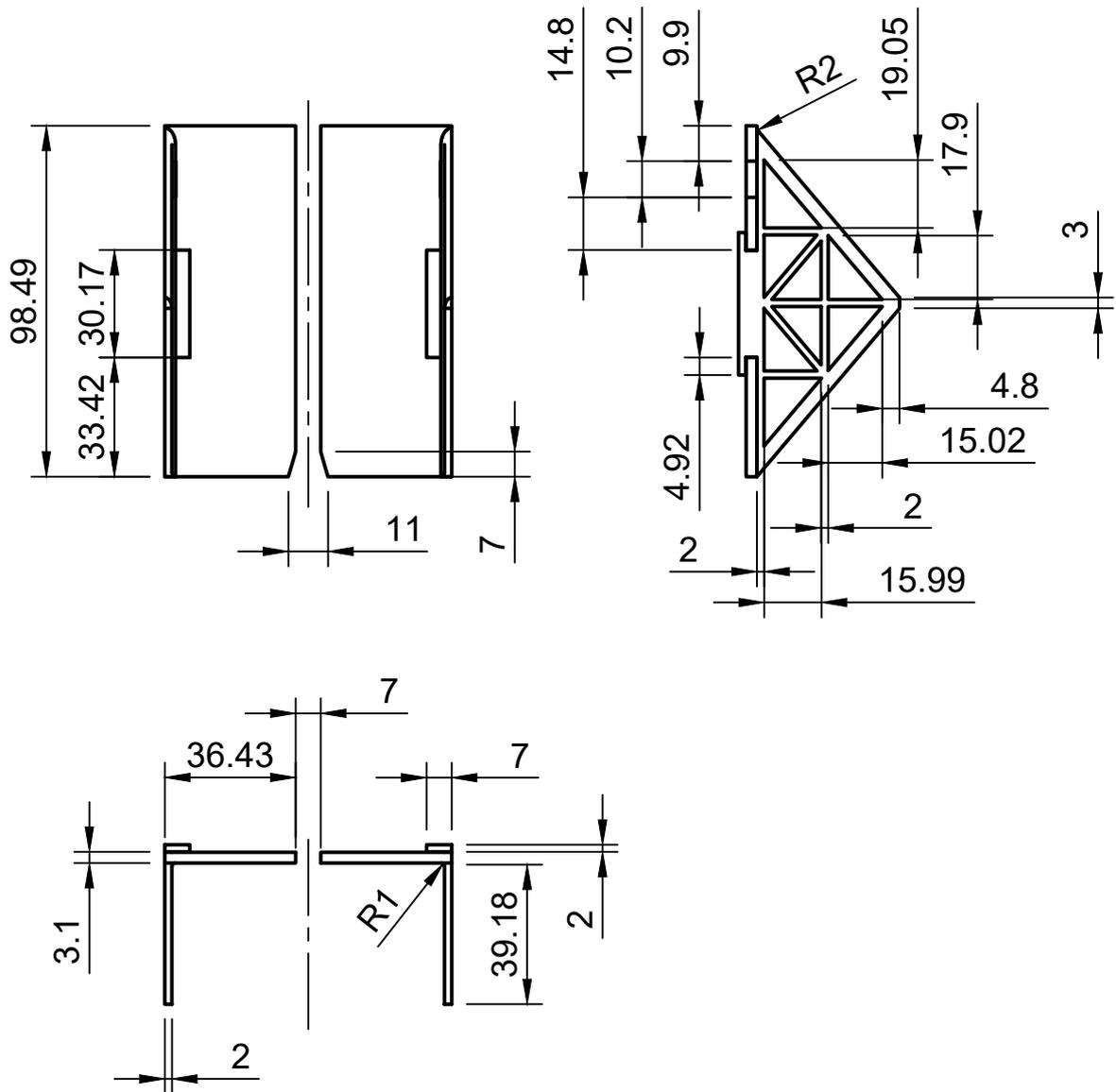
Escala 1:4		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023	
		Tipo de plano Subconjunto	Revisión	
Institución 		Título Bloques de plegado		Número de plano P1.01.00
				Unidades mm



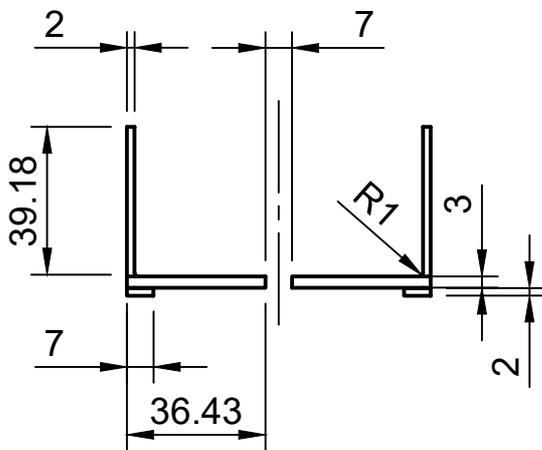
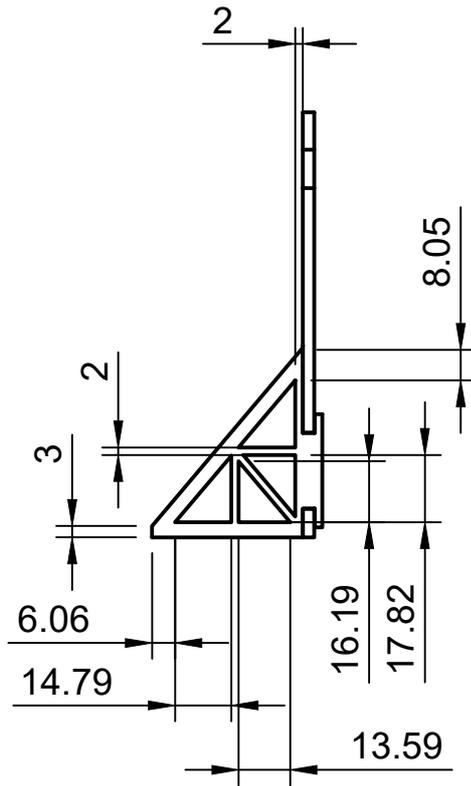
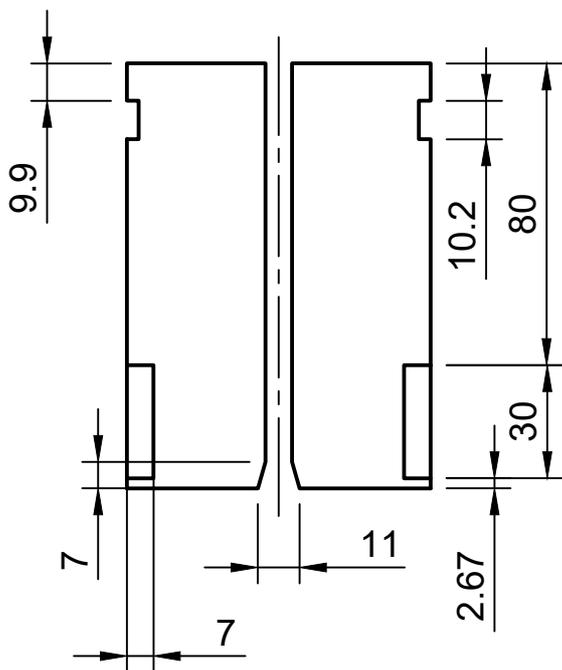
Escala 1:2		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
Institución 		Tipo de plano Pieza	Revisión
		Título Bloque 1	Número de plano P1.01.01
		Unidades mm	DIN A4
			Hoja 3/34



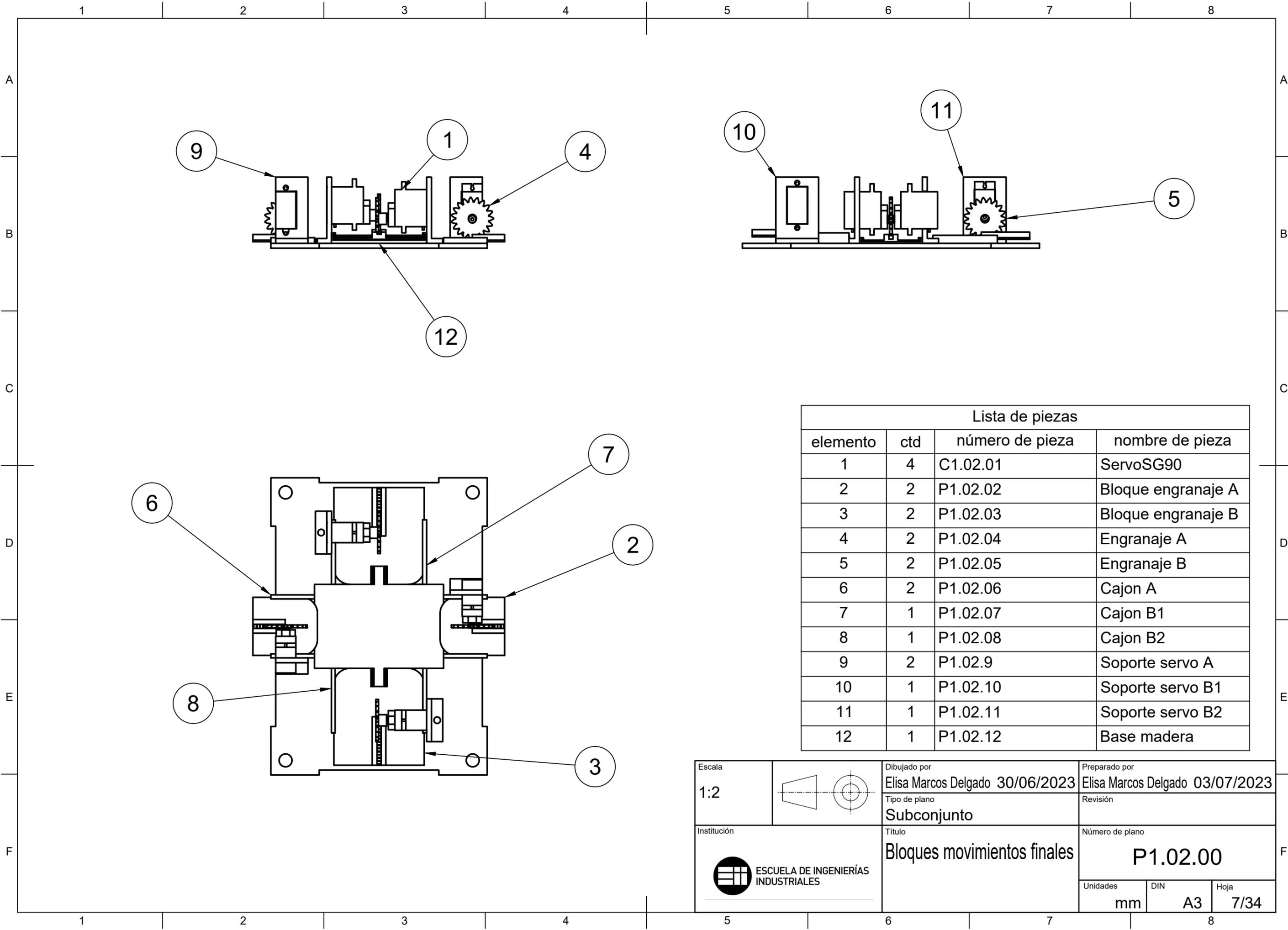
Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
Institución  ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		Tipo de plano Pieza	Revisión
		Título Bloque 2	Número de plano P1.01.02
		Unidades mm	DIN A4
		Hoja 4/34	



Escala 1:2		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
Institución 		Tipo de plano Pieza	Revisión
		Título Bloque 3	Número de plano P1.01.03
		Unidades mm	DIN A4
		Hoja 5/34	

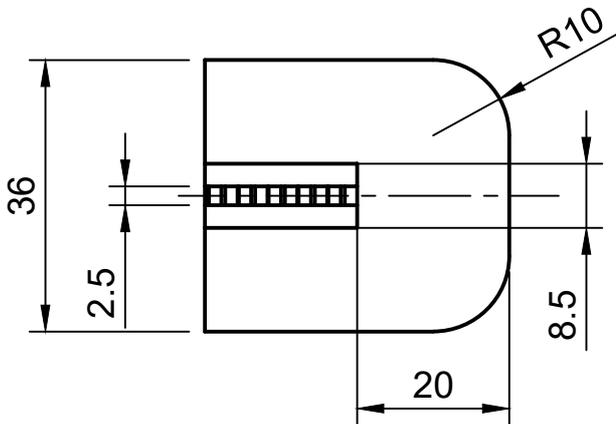
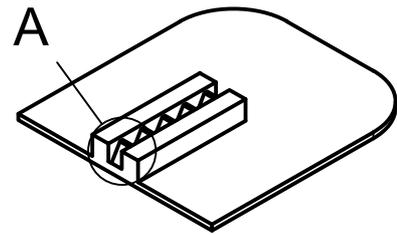
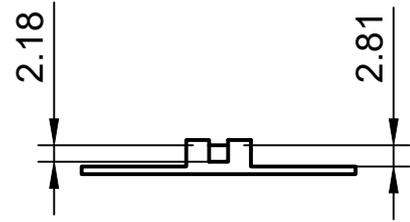
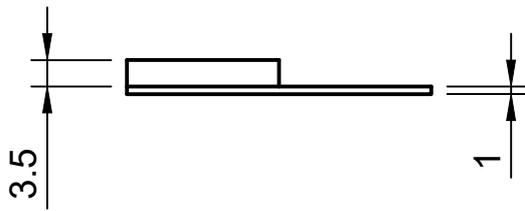


Escala 1:2		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
Institución 		Tipo de plano Pieza	Revisión
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		Título Bloque 4	Número de plano P1.01.04
		Unidades mm	DIN A4
			Hoja 6/34

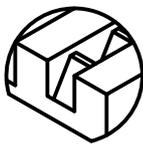


Lista de piezas			
elemento	ctd	número de pieza	nombre de pieza
1	4	C1.02.01	ServoSG90
2	2	P1.02.02	Bloque engranaje A
3	2	P1.02.03	Bloque engranaje B
4	2	P1.02.04	Engranaje A
5	2	P1.02.05	Engranaje B
6	2	P1.02.06	Cajon A
7	1	P1.02.07	Cajon B1
8	1	P1.02.08	Cajon B2
9	2	P1.02.9	Soporte servo A
10	1	P1.02.10	Soporte servo B1
11	1	P1.02.11	Soporte servo B2
12	1	P1.02.12	Base madera

Escala 1:2		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023	
		Tipo de plano Subconjunto		Revisión
		Título Bloques movimientos finales		
		Número de plano P1.02.00		
		Unidades mm	DIN A3	Hoja 7/34



A (2:1)

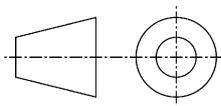


DATOS DEL ENGRANAJE RECTO DE CREMALLERA

Módulo	1.25 mm
Número de dientes	5
Gosor de la cremallera	2.5mm
Ángulo de presión	30°
Altura de la cremallera	1mm

Escala

1:1



Dibujado por

Elisa Marcos Delgado 30/06/2023

Preparado por

Elisa Marcos Delgado 03/07/2023

Tipo de plano

Pieza

Revisión

Institución



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Título

Bloque engranaje A

Número de plano

P1.02.02

Unidades

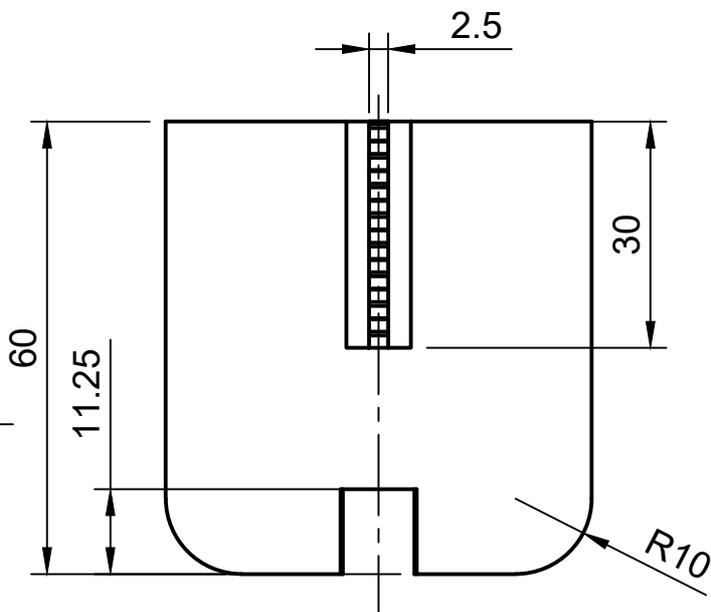
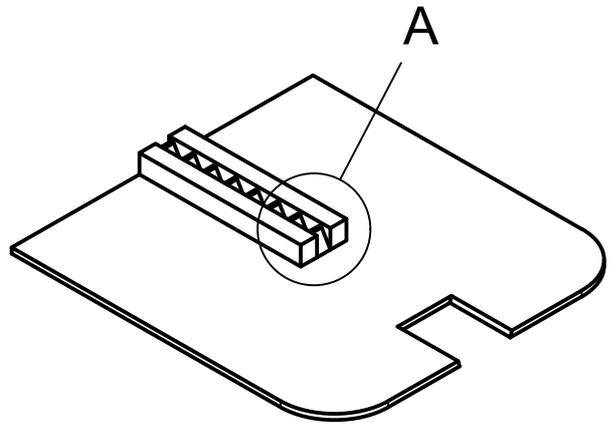
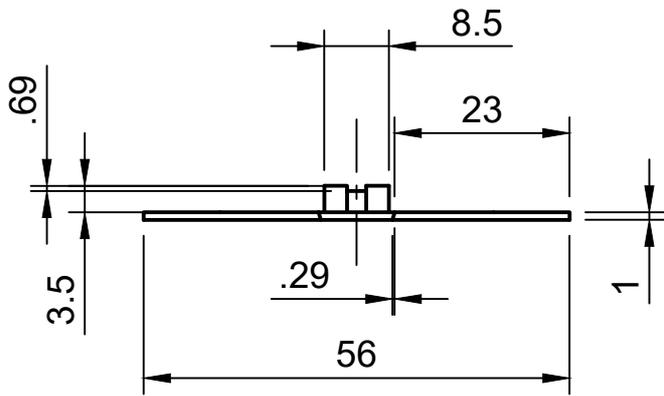
mm

DIN

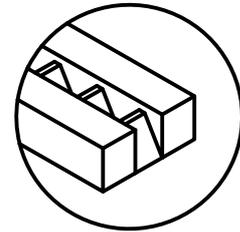
A4

Hoja

8/34

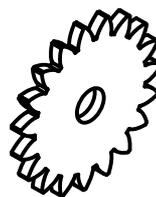
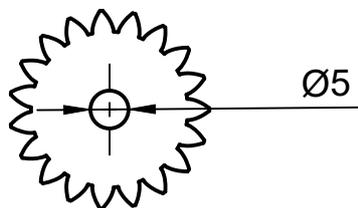


A (2:1)



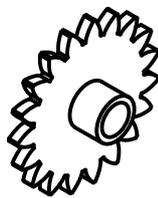
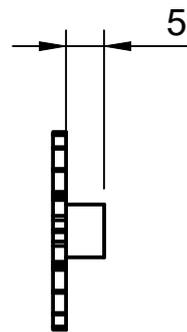
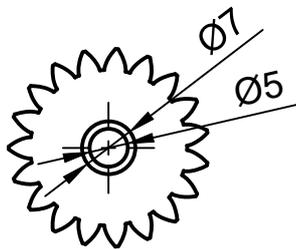
DATOS DEL ENGRANAJE RECTO DE CREMALLERA	
Módulo	1.25 mm
Número de dientes	8
Gosor de la cremallera	2.5mm
Ángulo de presión	30°
Altura de la cremallera	1mm

Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023	
		Tipo de plano Pieza	Revisión	
Institución 	Título Bloque engranaje B	Número de plano P1.02.03		
		Unidades mm	DIN A4	Hoja 9/34



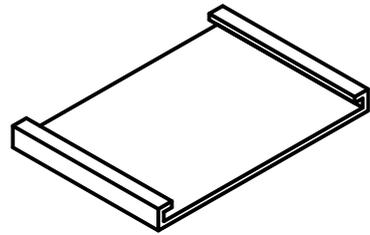
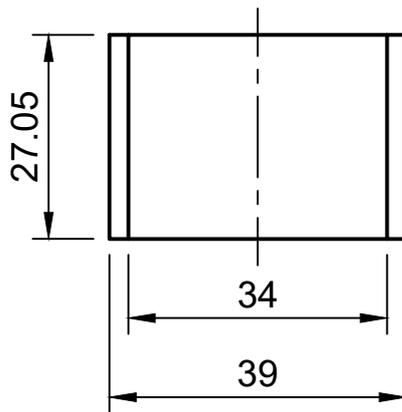
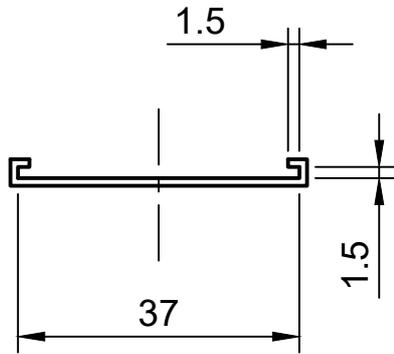
DATOS DEL ENGRANAJE DE DIENTES RECTOS	
Módulo	1.25mm
Número de dientes	19
Gosor del engranaje	1.7mm
Ángulo de presión	30°

Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
		Tipo de plano Pieza	Revisión
Institución ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	Título Engranaje A	Número de plano P1.02.04	
		Unidades mm	DIN A4

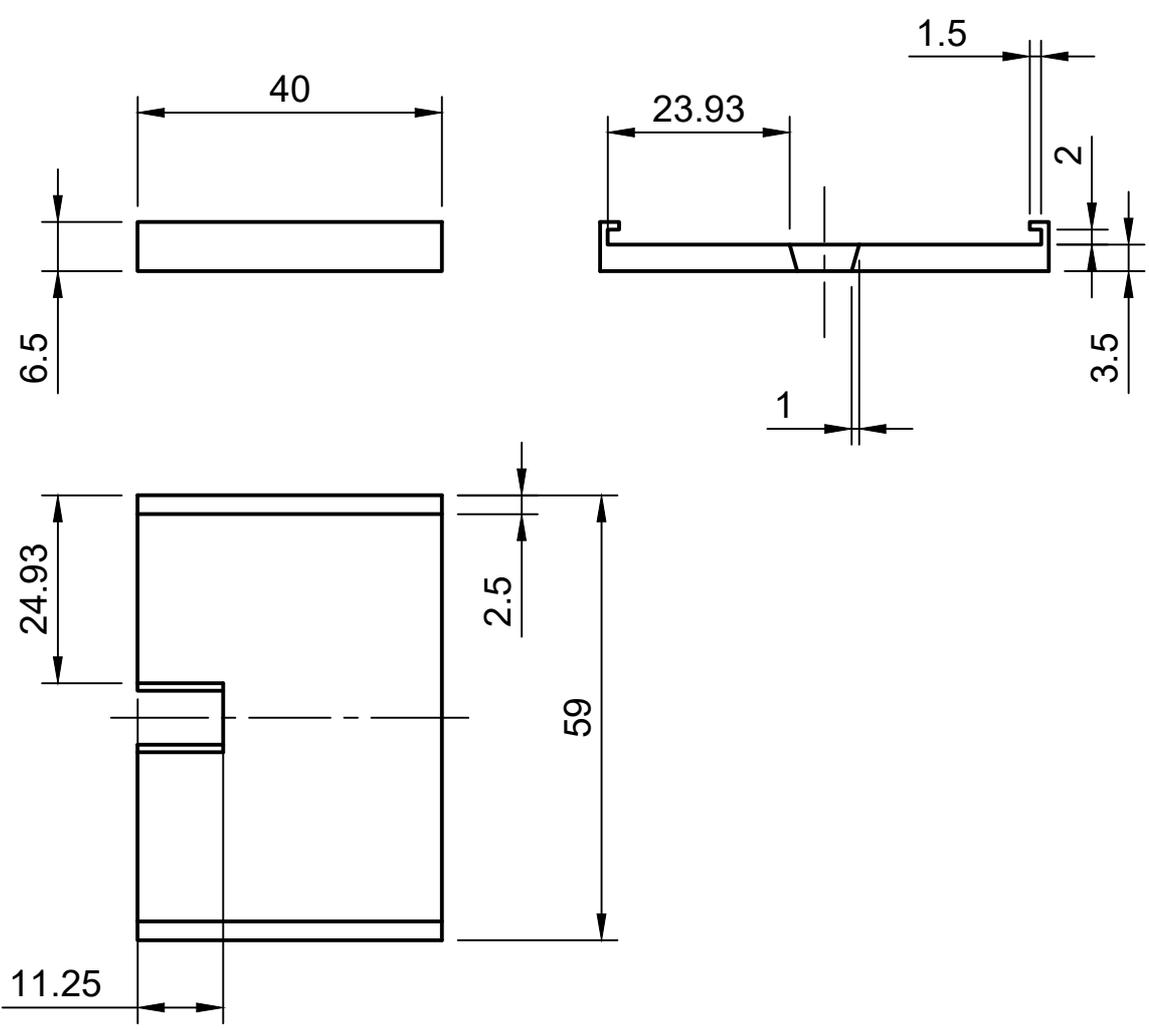


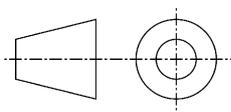
DATOS DEL ENGRANAJE DE DIENTES RECTOS	
Módulo	1.25mm
Número de dientes	19
Gosor del engranaje	1.7mm
Ángulo de presión	30°

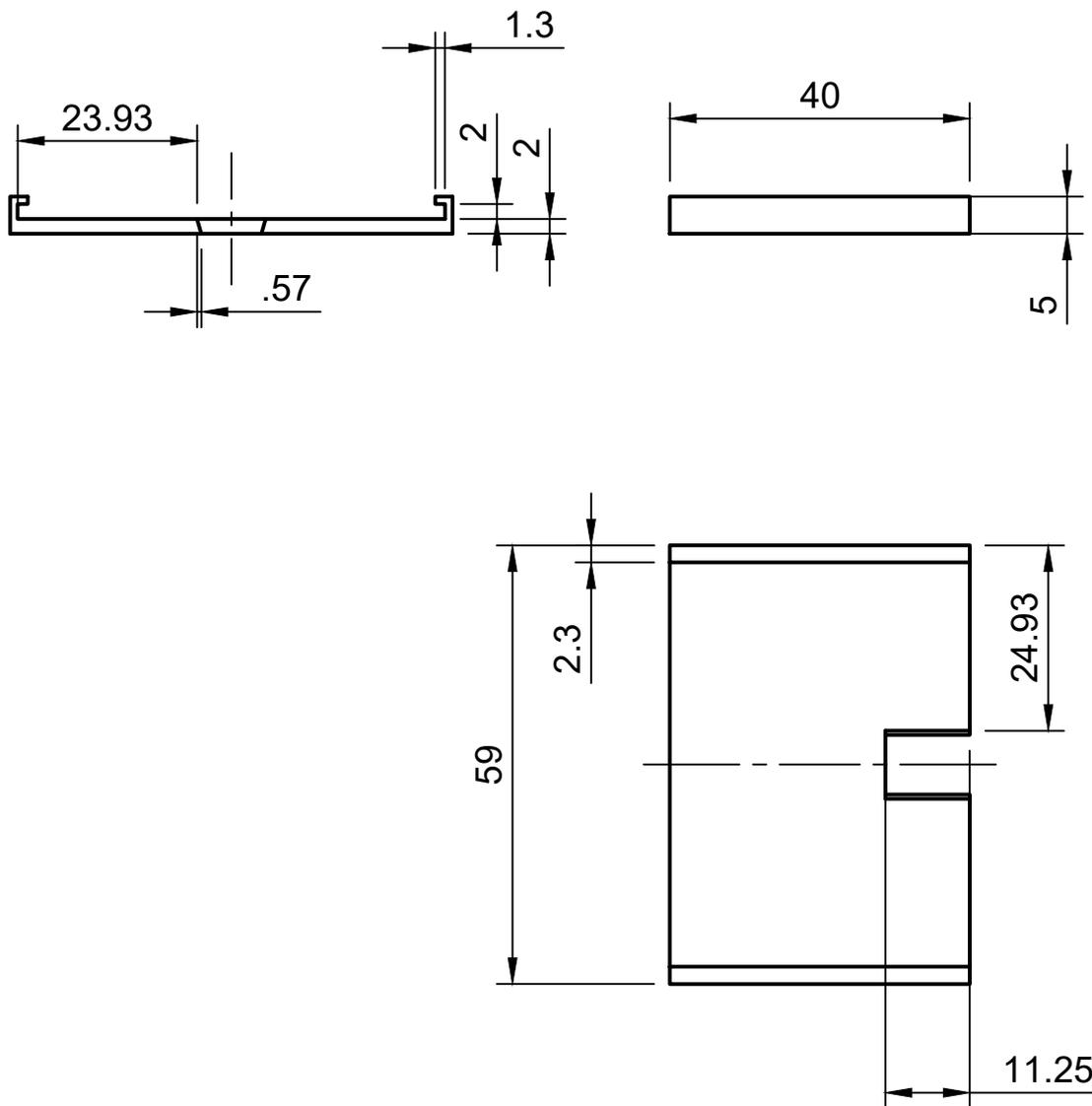
Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
		Tipo de plano Pieza	Revisión
Institución ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	Título Engranaje B	Número de plano P1.02.05	
		Unidades mm	DIN A4



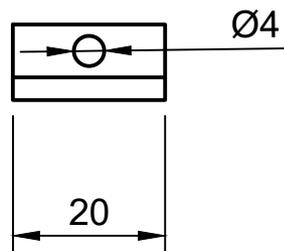
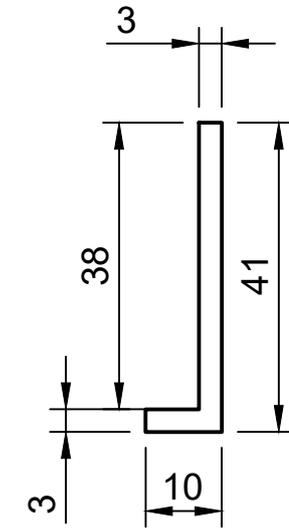
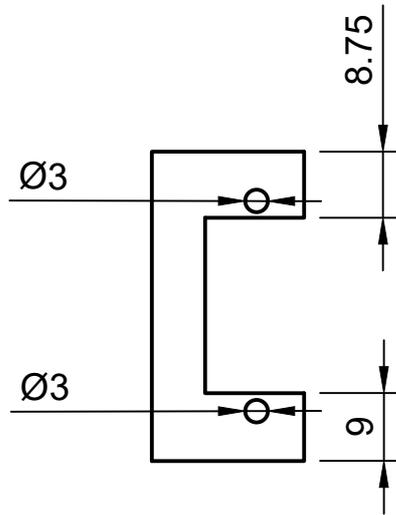
Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023	
Institución 		Tipo de plano Pieza	Revisión	
		Título Cajón A	Número de plano P1.02.06	
			Unidades mm	DIN A4
			Hoja 12/34	



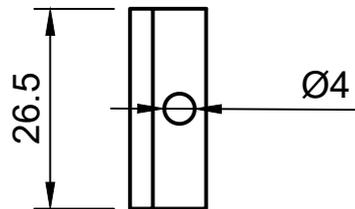
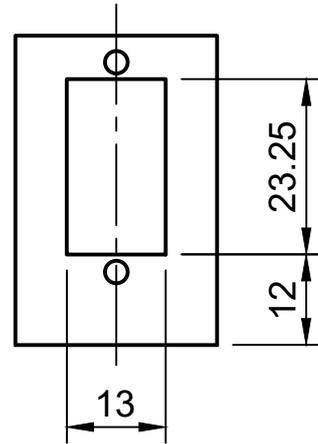
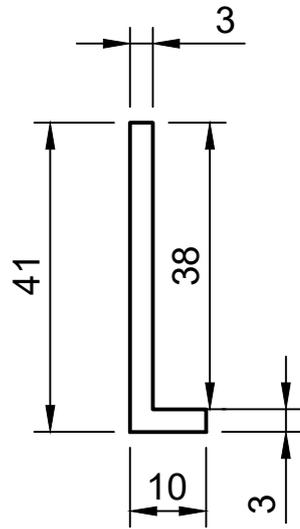
Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
Institución  ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		Tipo de plano Pieza	Revisión
Título Cajón B1		Número de plano P1.02.07	
		Unidades mm	DIN A4
		Hoja 13/34	



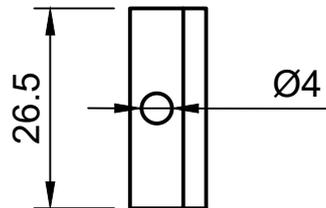
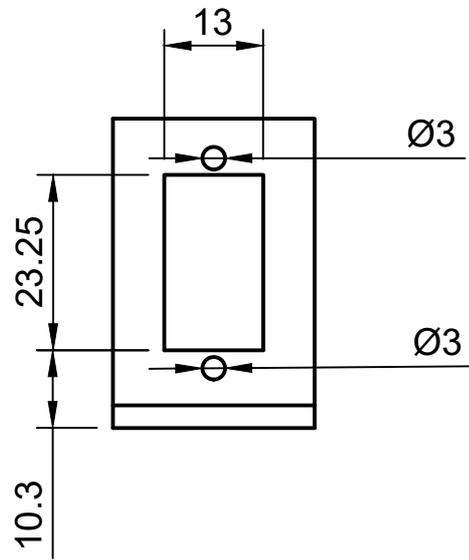
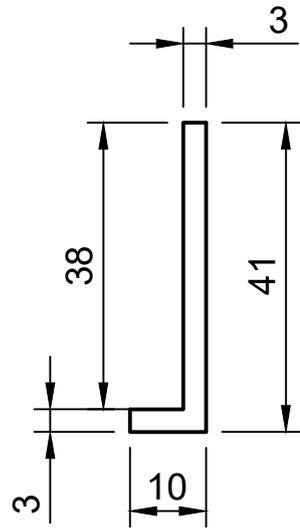
Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023	
Institución 		Tipo de plano Pieza	Revisión	
		Título Cajón B2	Número de plano P1.02.08	
			Unidades mm	DIN A4
			Hoja 14/34	



Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023		
Institución 		Tipo de plano Pieza	Revisión		
		Título Soporte servo A	Número de plano P1.02.09		
			Unidades mm	DIN A4	Hoja 15/34

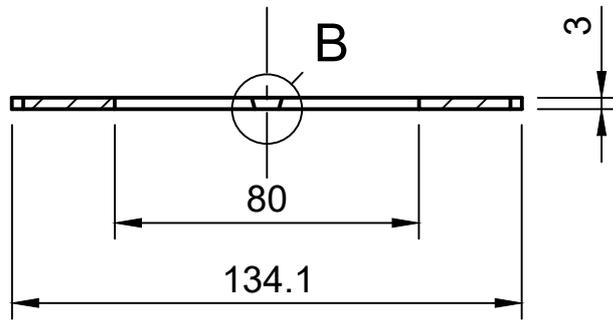


Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023	
Institución  ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		Tipo de plano Pieza	Revisión	
		Título Soporte servo B1	Número de plano P1.02.10	
			Unidades mm	DIN A4
			Hoja 16/34	

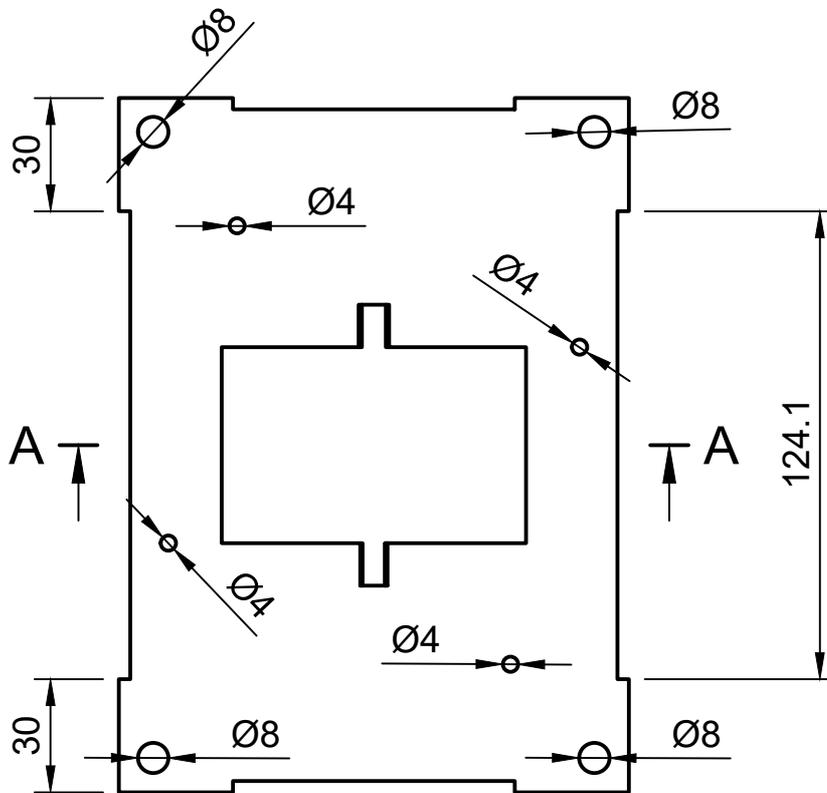
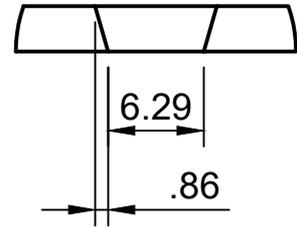


Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023	
Institución 		Tipo de plano Pieza	Revisión	
		Título Soporte servo B2	Número de plano P1.02.11	
			Unidades mm	DIN A4
			Hoja 17/34	

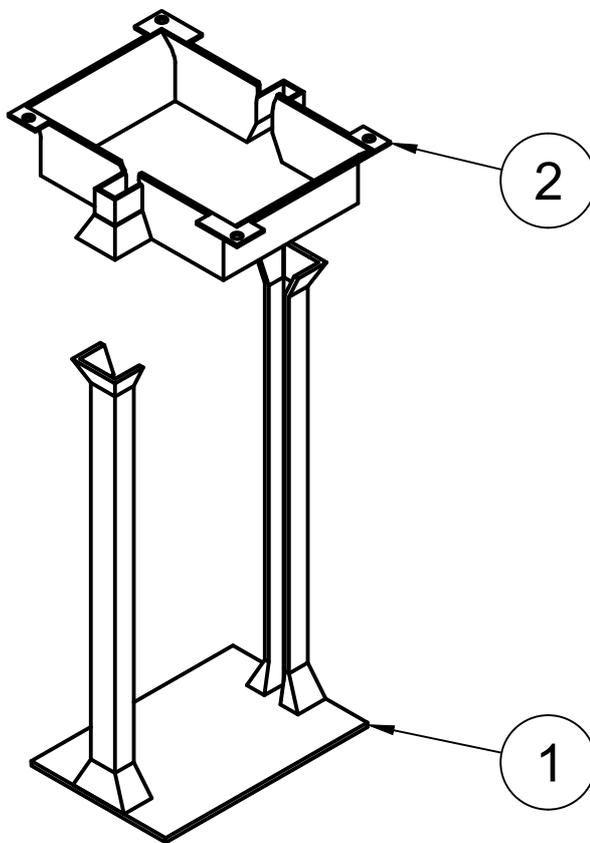
A-A (1:2)



B (2:1)



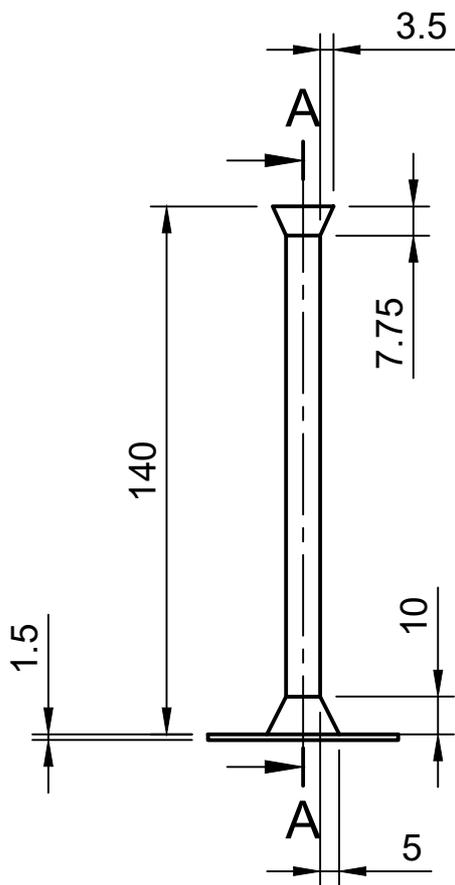
<p>Escala</p> <p>1:2</p>		<p>Dibujado por</p> <p>Elisa Marcos Delgado 30/06/2023</p>	<p>Preparado por</p> <p>Elisa Marcos Delgado 03/07/2023</p>	
<p>Institución</p>		<p>Tipo de plano</p> <p>Pieza</p>	<p>Revisión</p>	
<p>Título</p> <p>Base de madera</p>		<p>Número de plano</p> <p>P1.02.12</p>		
		<p>Unidades</p> <p>mm</p>	<p>DIN</p> <p>A4</p>	<p>Hoja</p> <p>18/34</p>



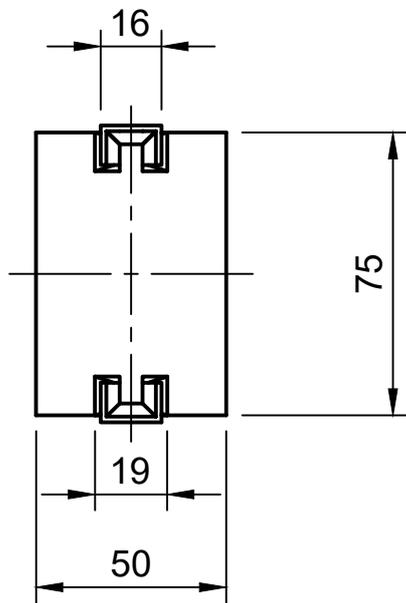
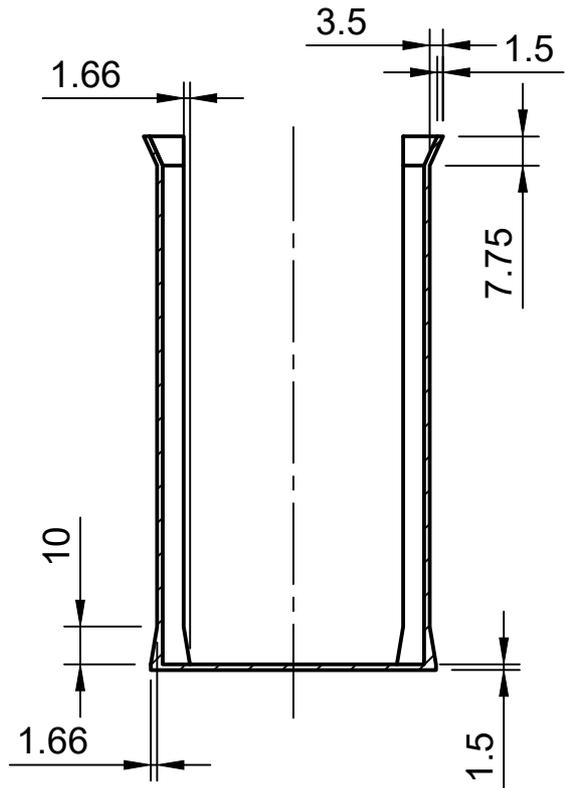
Lista de piezas

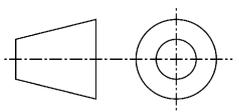
elemento	ctd	número de pieza	nombre de pieza
1	1	P1.03.01	Guía inferior
2	1	P1.03.02	Guía superior

Escala 1:2		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023	
		Tipo de plano Conjunto	Revisión	
Institución ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	Título Guía para el elevador	Número de plano P1.03.00		
		Unidades mm	DIN A4	Hoja 19/34

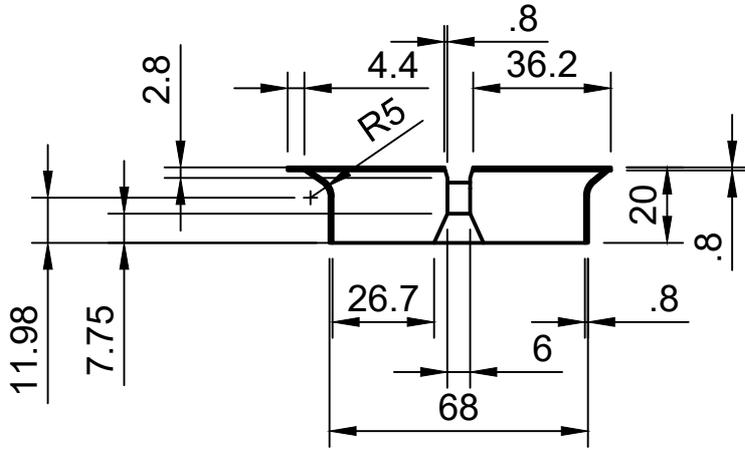


A-A (1:2)

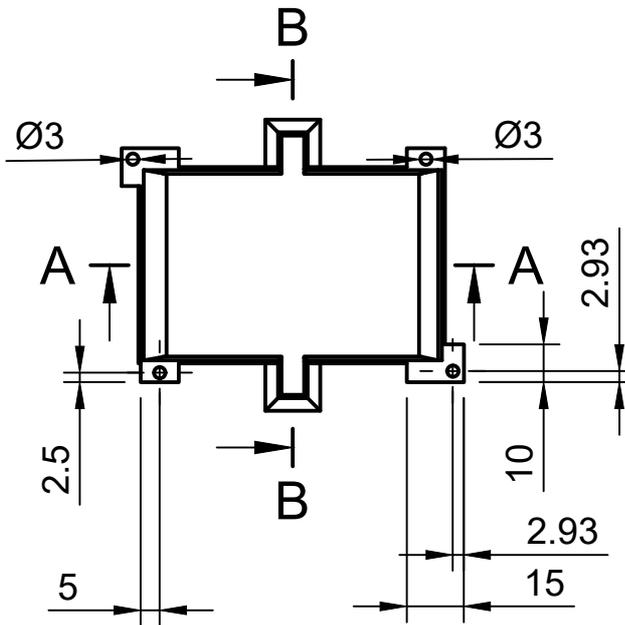
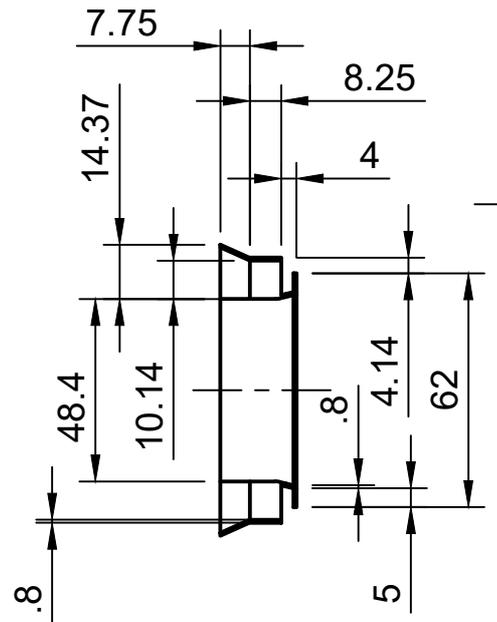


Escala 1:2		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023			
Institución  ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		Tipo de plano Pieza	Revisión			
		Título Guía inferior	Número de plano P1.03.01			
			<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1053 2083 1212 2159">Unidades mm</td> <td data-bbox="1212 2083 1372 2159">DIN A4</td> <td data-bbox="1372 2083 1530 2159">Hoja 20/34</td> </tr> </table>	Unidades mm	DIN A4	Hoja 20/34
Unidades mm	DIN A4	Hoja 20/34				

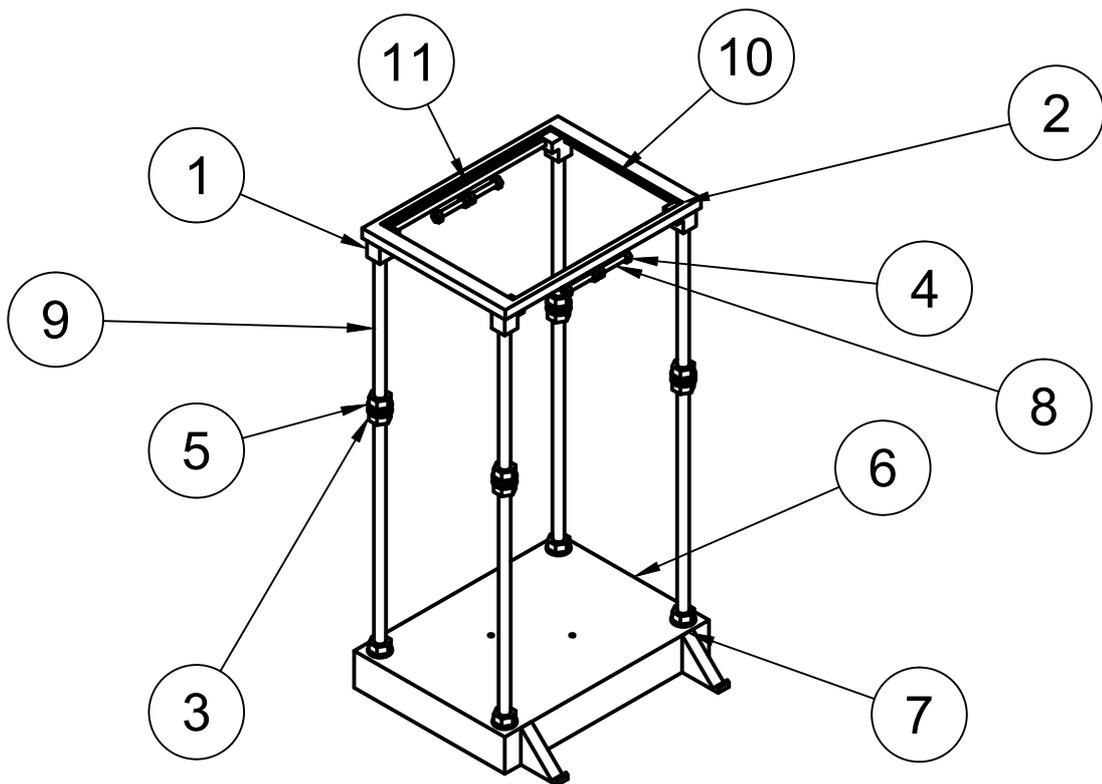
A-A (1:2)



B-B (1:2)



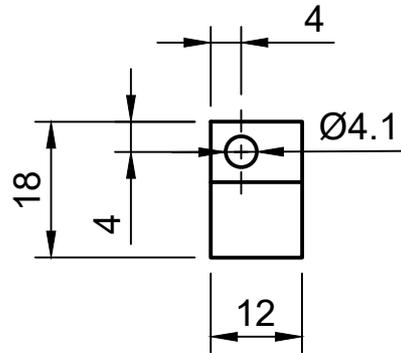
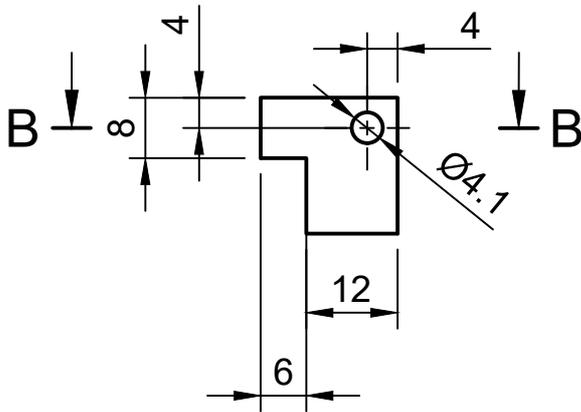
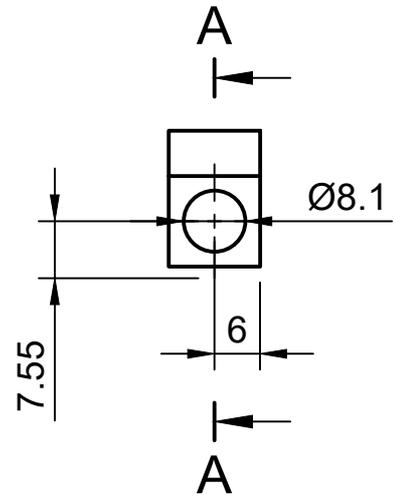
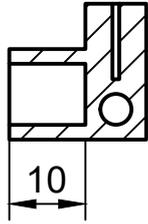
Escala 1:2		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
Institución 		Tipo de plano Pieza	Revisión
Título Guía superior		Número de plano P1.03.02	
		Unidades mm	DIN A4
		Hoja 21/34	



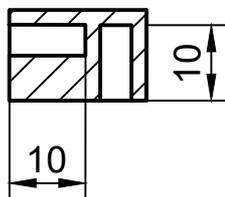
Lista de piezas			
elemento	ctd	número de pieza	nombre de pieza
1	1	P1.05.02	Empalme varillas
2	1	P1.05.03	Marco papel
3	16	C1.05.01	Tuerca M8
4	8	C1.05.04	Tuerca M4
5	16	C1.05.05	Arandela M8
6	1	P1.05.06	Base de madera
7	2	P1.05.07	Soporte protoboard
8	2	C1.05.08	Varilla M4 60mm
9	4	C1.05.09	Varilla M8 350mm
10	2	C1.05.10	Varilla M4 124mm
11	2	C1.05.11	Varilla M4 162mm

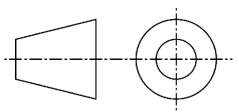
Escala 1:5		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
		Tipo de plano Conjunto	Revisión
Institución ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	Título Estructura	Número de plano P1.05.00	
		Unidades mm	DIN A4

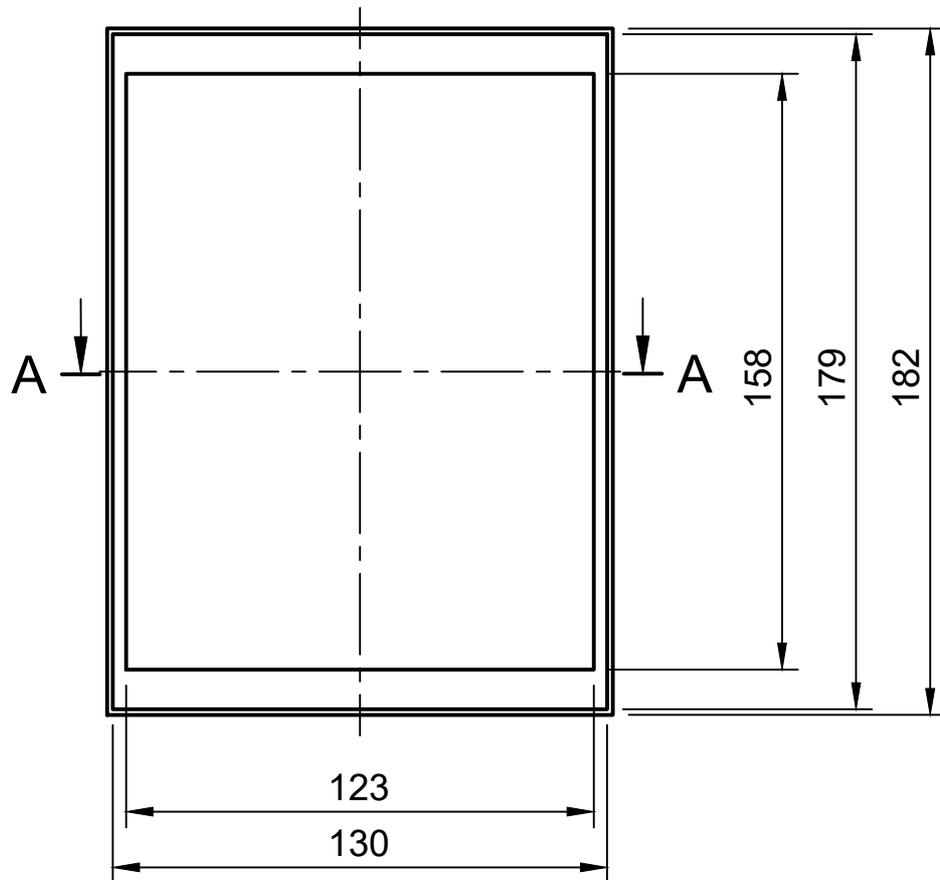
A-A (1:1)



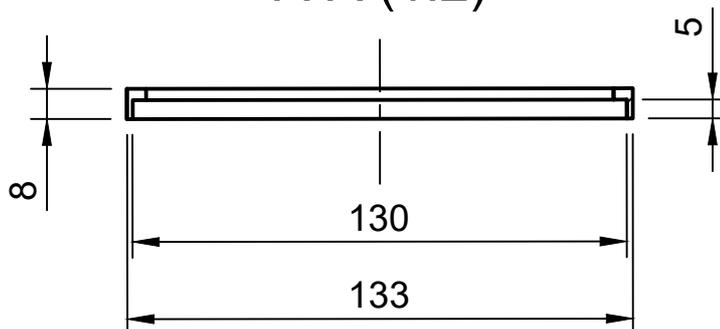
B-B (1:1)



Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023			
Institución  ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		Tipo de plano Pieza	Revisión			
		Título Empalme varillas	Número de plano P1.05.02			
			<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1053 2083 1212 2159">Unidades mm</td> <td data-bbox="1212 2083 1372 2159">DIN A4</td> <td data-bbox="1372 2083 1530 2159">Hoja 23/34</td> </tr> </table>	Unidades mm	DIN A4	Hoja 23/34
Unidades mm	DIN A4	Hoja 23/34				

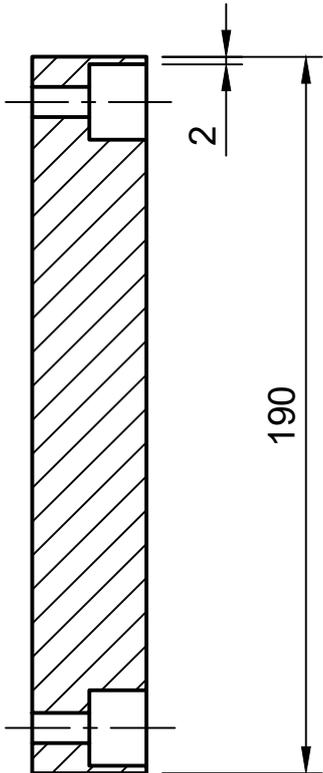
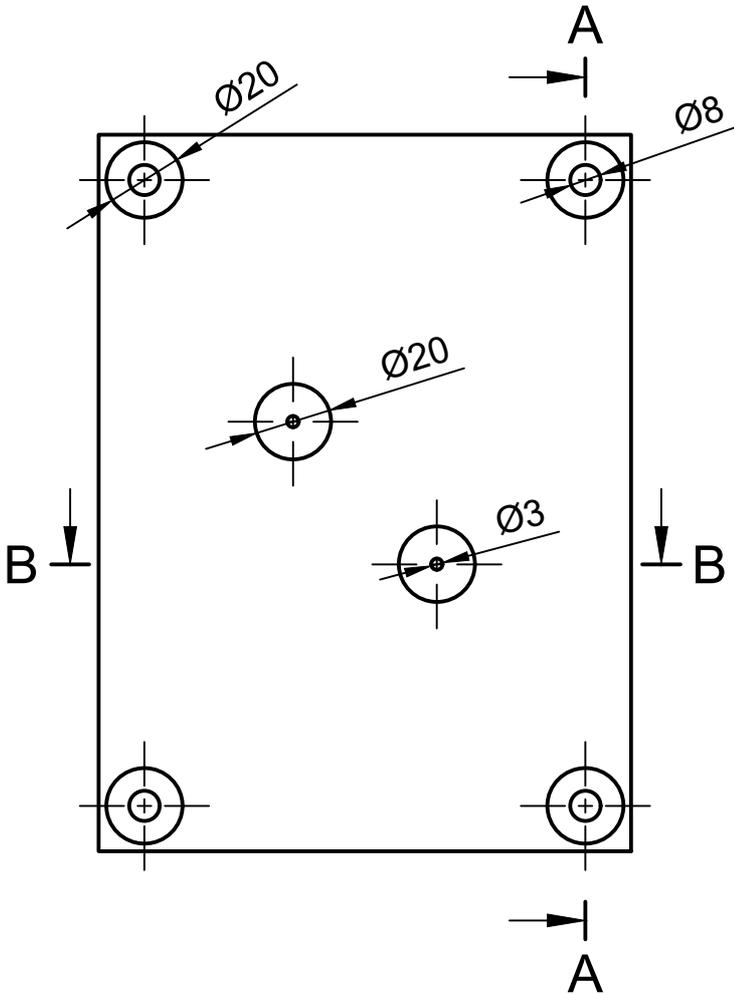


A-A (1:2)

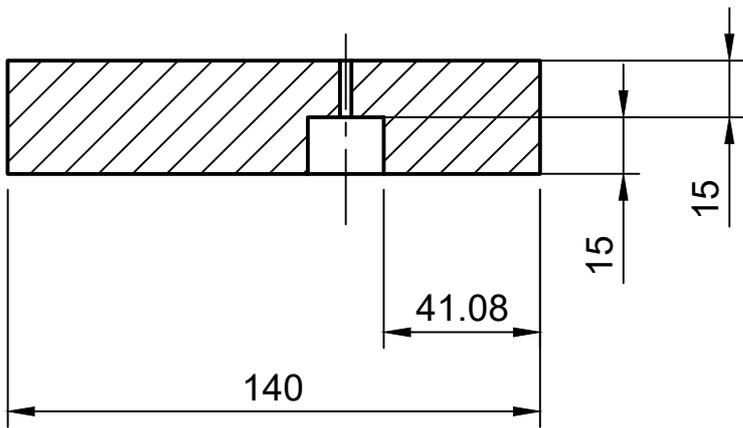


Escala 1:2		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023	
Institución 		Tipo de plano Pieza	Revisión	
Institución 		Título Marco de papel	Número de plano P1.05.03	
			Unidades mm	DIN A4

A-A (1:2)

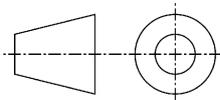


B-B (1:2)



Escala

1:2



Dibujado por

Elisa Marcos Delgado 30/06/2023

Preparado por

Elisa Marcos Delgado 03/07/2023

Tipo de plano

Pieza

Revisión

Institución



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Título

Base madera

Número de plano

P1.05.06

Unidades

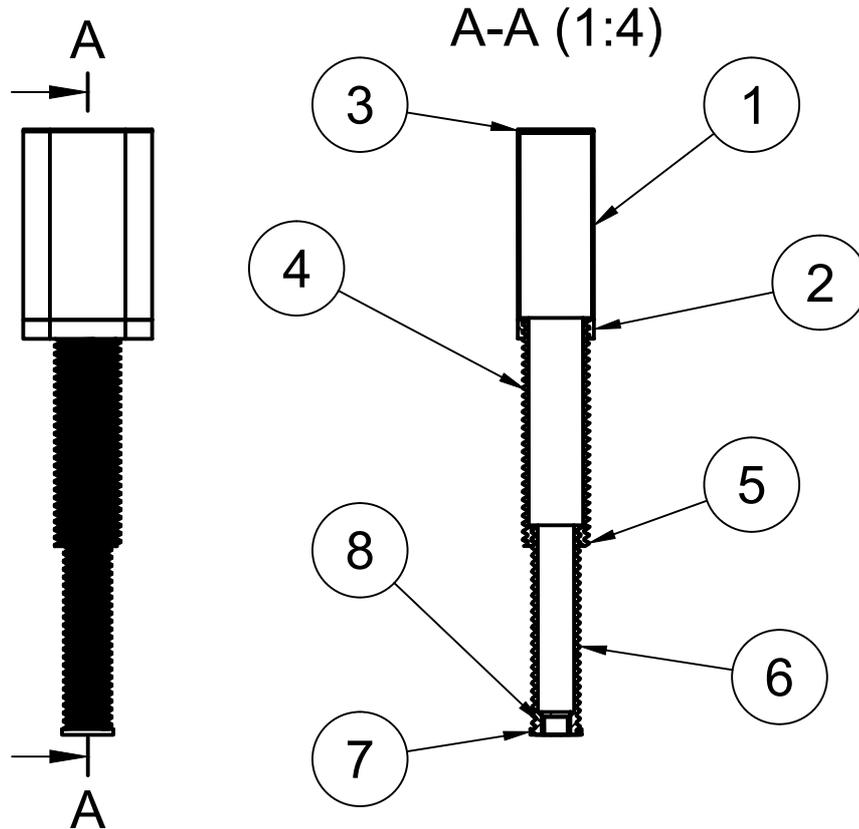
mm

DIN

A4

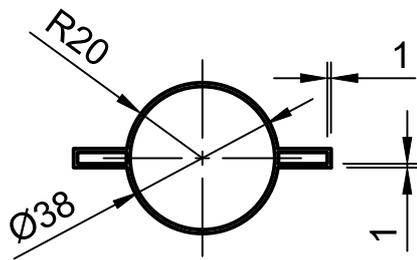
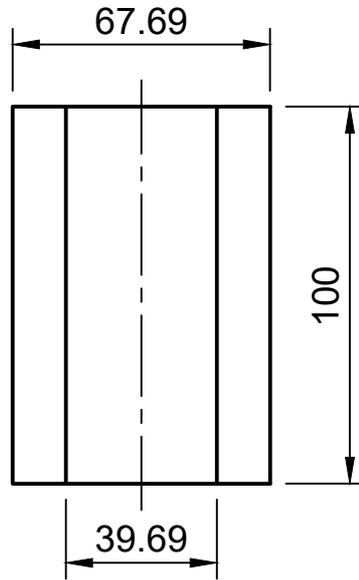
Hoja

25/34

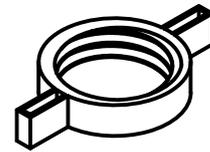
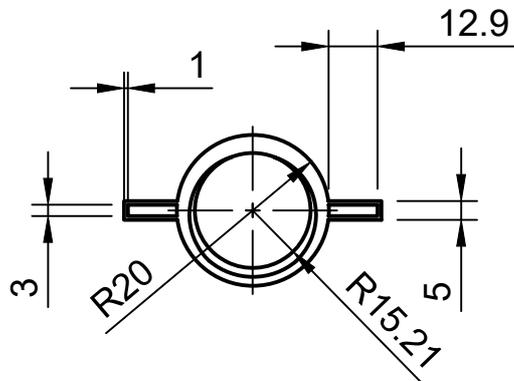
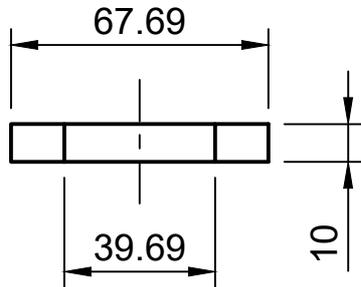


Lista de piezas			
elemento	ctd	número de pieza	nombre de pieza
1	1	P1.06.01	Cuerpo eslabón 1
2	1	P1.06.02	Rosca eslabón 1
3	1	P1.06.03	Tapa eslabón 1
4	1	P1.06.04	Cuerpo eslabón 2
5	1	P1.06.05	Rosca eslabón 2
6	1	P1.06.06	Cuerpo eslabón 3
7	1	P1.06.07	Tope eslabón 3
8	1	P1.06.08	Empalme motor

Escala 1:4		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
		Tipo de plano Conjunto	Revisión
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	Título Elevador telescópico	Número de plano P1.06.00	
		Unidades mm	DIN A4

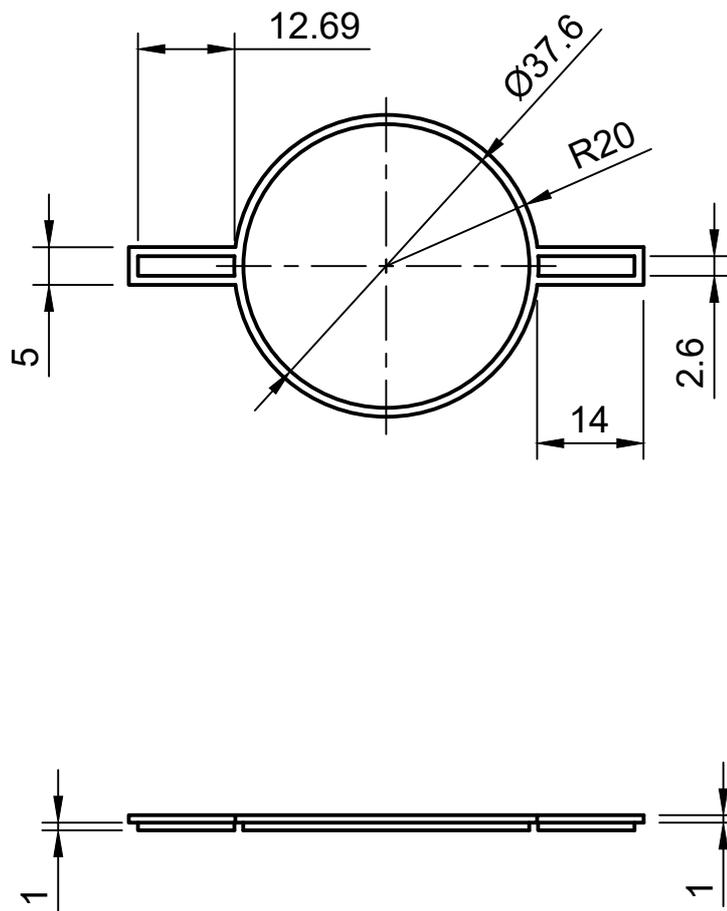


Escala 1:2		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023		
Institución 		Tipo de plano Pieza	Revisión		
		Título Cuerpo eslabón 1	Número de plano P1.06.01		
			Unidades mm	DIN A4	Hoja 27/34

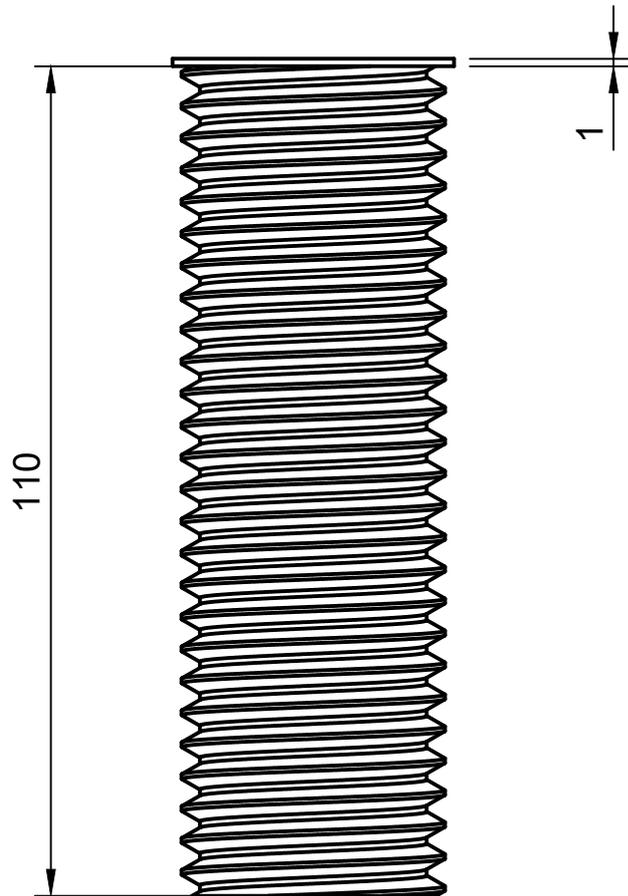
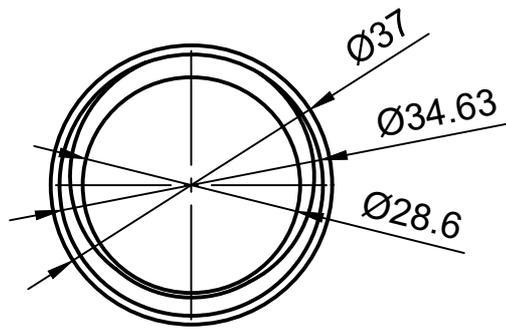


Rosca modelada	
Tipo	Rosca de tornillo unificada ANSI
Tamaño	1.375 in
Designación	1 3/8-6 UNC
Clase	2A
Dirección	Mano derecha

Escala 1:2		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
		Tipo de plano Pieza	Revisión
 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	Rosca eslabón 1	Número de plano P1.06.02	
		Unidades mm	DIN A4

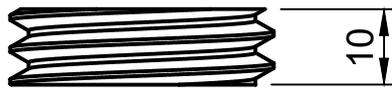
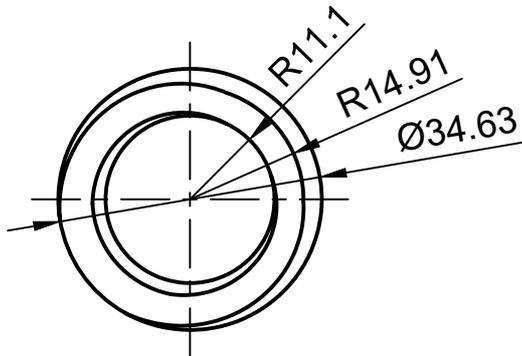


Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023	
Institución 		Tipo de plano Pieza	Revisión	
		Título Tapa eslabón 1	Número de plano P1.06.03	
			Unidades mm	DIN A4
			Hoja 29/34	



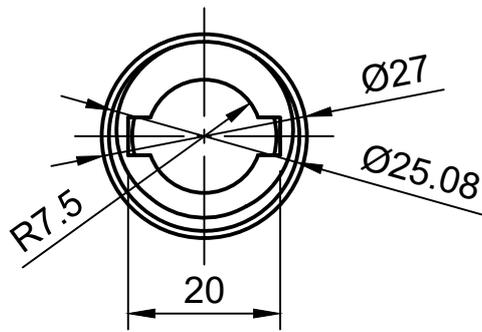
Rosca modelada	
Tipo	Rosca de tornillo unificada ANSI
Tamaño	1.375 in
Designación	1 3/8-6 UNC
Clase	2A
Dirección	Mano derecha

Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
		Tipo de plano Pieza	Revisión
Institución 	Título Cuerpo eslabón 2	Número de plano P1.06.04	
		Unidades mm	DIN A4

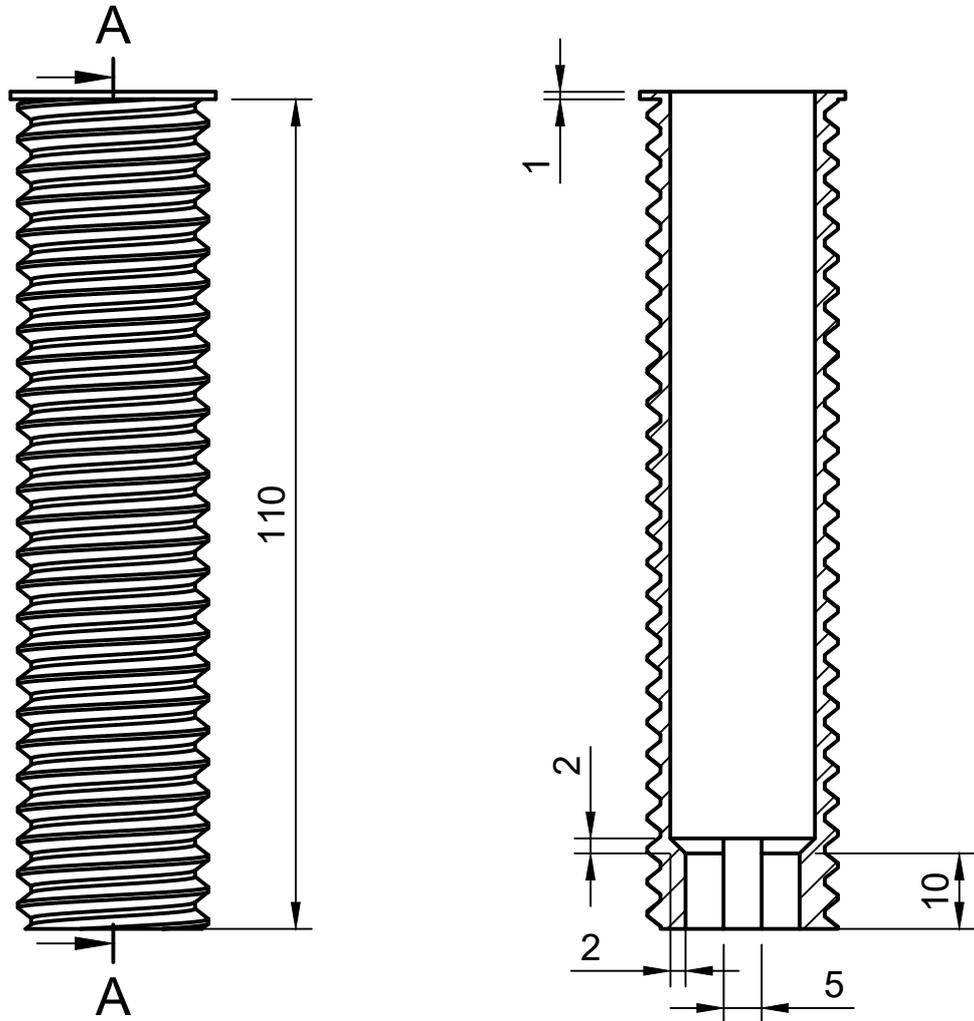


Rosca modelada	
Tipo	Rosca de tornillo unificada ANSI
Tamaño	1.375 in
Designación	1 3/8-6 UNC
Clase	2A
Dirección	Mano derecha

Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
		Tipo de plano Pieza	Revisión
	Rosca eslabón 2	Número de plano P1.06.05	
		Unidades mm	DIN A4

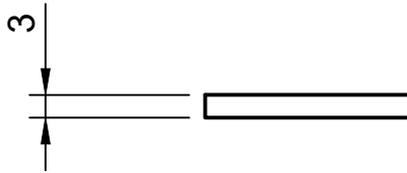
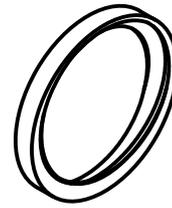
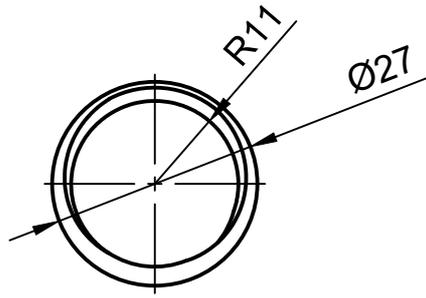


A-A (1:1)



Rosca modelada	
Tipo	Rosca de tornillo unificada ANSI
Tamaño	1.375 in
Designación	1 3/8-6 UNC
Clase	2A
Dirección	Mano derecha

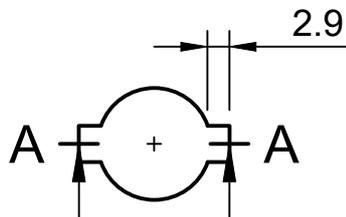
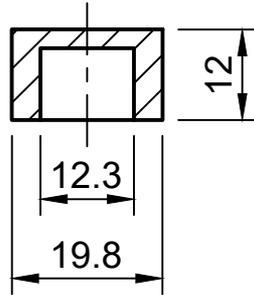
Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
		Tipo de plano Pieza	Revisión
	ESCUOLA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	Título Cuerpo eslabón 3	Número de plano P1.06.06
		Unidades mm	DIN A4



Rosca modelada	
Tipo	Rosca de tornillo unificada ANSI
Tamaño	1.375 in
Designación	1 3/8-6 UNC
Clase	2A
Dirección	Mano derecha

Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
		Tipo de plano Pieza	Revisión
Institución 	Título Tope eslabón 3	Número de plano P1.06.07	
		Unidades mm	DIN A4

A-A (1:1)



Escala 1:1		Dibujado por Elisa Marcos Delgado 30/06/2023	Preparado por Elisa Marcos Delgado 03/07/2023
Institución  ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		Tipo de plano Pieza	Revisión
		Título Empalme motor	Número de plano P1.06.08
		Unidades mm	DIN A4 Hoja 34/34