

Diseño de un robot para envolver pastillas de jabón

Marcos Delgado, E^a, Moya de la Torre, Eduardo J^b, Herreros López, Alberto ^{b*}

^a Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid

^b Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción, ITAP, de la Universidad de Valladolid

To cite this article: Marcos Delgado, E., Moya de la Torre, E., Herreros López, A. 2023. Diseño de un robot para envolver pastillas de jabón. XLIV Jornadas de Automática, 685-690
<https://doi.org/10.17979/spudc.9788497498609.685>

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. Se ha realizado el diseño mecánico mediante la herramienta Fusion 360, para posteriormente imprimir las piezas en 3D.

Por otro lado, la parte correspondiente a la programación del software y la implementación del hardware, se ha realizado en el entorno Arduino. Se ha tratado de conseguir una interfaz de usuario sencilla de utilizar, permitiendo la selección entre un modo manual y uno automático.

Palabras clave: Diseño conjunto de hardware/software, tecnología robótica, metodologías de diseño, manipuladores robóticos.

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. The mechanical design has been carried out using Fusion 360, and later the parts were 3D printed.

On the other hand, the software programming part and hardware corresponding implementation has been done using Arduino. The user interface is easy to use, allowing selection between a manual and an automatic mode.

Keywords: Hardware/software co-design, Robotics technology, Design methodologies, Robots manipulators

1. Introducción

En los últimos años, el mundo de la industria se ha ido transformando, tratando de homogeneizar y estandarizar procesos. Este trabajo es una aportación personal atendiendo a las inquietudes resultado del paso por las distintas asignaturas del Grado de Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática cursadas, y de la experiencia obtenida en un,

Sistema de Intercambio entre Centros Universitarios de España, SICUE en la Universidad de Valencia.

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 plantea el diseño y construcción de un prototipo capaz de envolver una pastilla de jabón de forma similar a la llevada

a cabo manualmente exactamente iguales.

Existen ejemplos de maquinaria destinada a envolver productos de forma parecida a la deseada:

- Línea de envasado automático FWC350A
- Modelos SW 250, 350, 550-Z, 600-D y 700-D, La empresa ACMA ha desarrollado varios productos destinados específicamente a envolver jabones
- Envolvedoras de papel para mantequilla y margarina

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

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.

El proceso planteado consta de dos modos de funcionamiento: manual y automático. El modo manual permite elegir el paso en concreto a realizar. El modo automático sigue la secuencia de movimientos definida hasta completar el envoltorio. El trabajo persigue también objetivos secundarios como son:

- Conseguir una interfaz de usuario fácilmente manejable.
- Tratar de que el robot tenga el menor tamaño posible, para que resulte más cómodo su manejo y transporte.
- Optimizar el tiempo de realización de un ciclo completo de envasado.

Como se ha comentado, el robot imita los pasos realizados de forma manual. Dichos pasos son los mostrados en la Figura 1, mostrada a continuación:

- **Paso 0:** Se parte con el papel colocado horizontalmente debajo del jabón,
- **Paso 1:** Se deben plegar los extremos superior e inferior del papel sobre el jabón, tratando de que quede lo más centrado posible.
- **Paso 2:** Consiste en repetir el paso anterior con el extremo derecho del papel.
- **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
- **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.
- **Paso 5:** Se pliega el triángulo formado en el paso anterior sobre el propio jabón.
- **Paso 6:** Consiste en doblar el extremo izquierdo de papel sobre la pastilla, formando 90° con la horizontal.
- **Paso 7:** Se pliegan las dos esquinas del papel restantes, una sobre la parte superior del jabón y la otra sobre la inferior.
- **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.

- **Paso 9:** Por último, se debe doblar el restante de papel sobre el jabón.

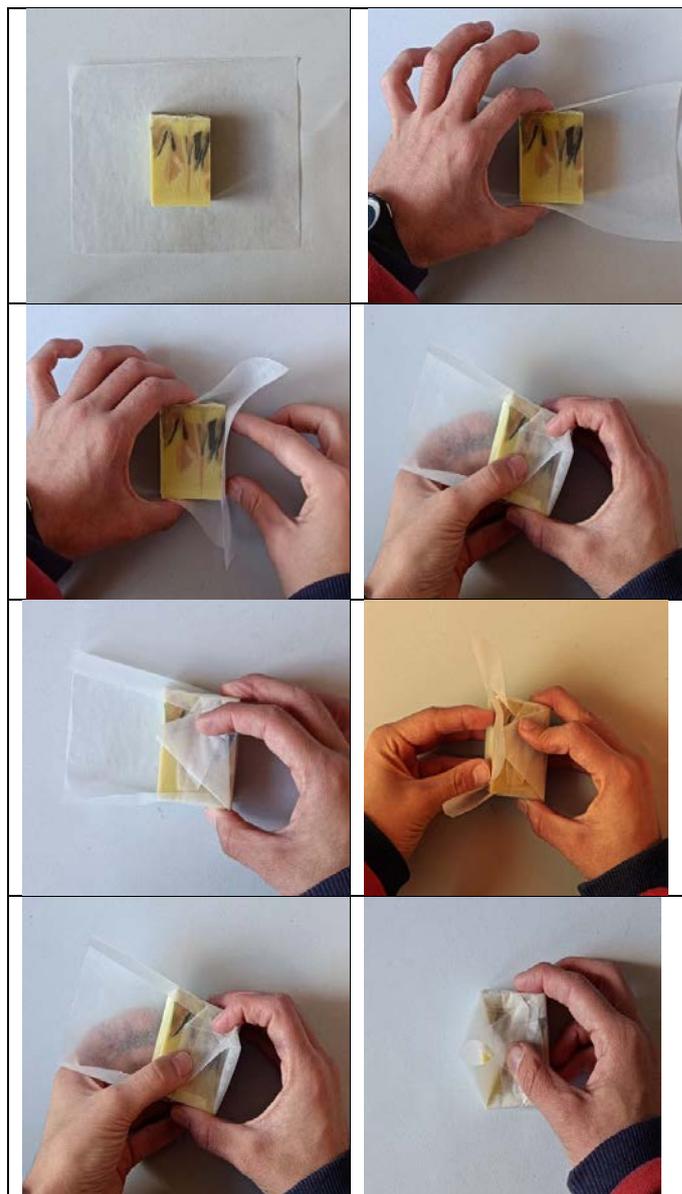


Figura 1: Pasos del Proceso

Para que el dispositivo realice correctamente su función, debe implementarse un código de programación que permita los dos modos de funcionamiento comentados anteriormente. Se utilizará el entorno Arduino para completar dicha función.

Por otro lado, en cuanto a elementos físicos, serán necesarios los siguientes:

- Alimentación autónoma: Fuente de alimentación DC de 5 V.
- Servomotores para realizar los distintos movimientos requeridos.
- Interruptor ON/OFF.
- Selector del modo de funcionamiento.
- Selector del paso a realizar en modo manual.
- Display para indicar el modo y paso que se está realizando.
- Madera o plástico para realizar la estructura.

1.1. Justificación del trabajo

El presente artículo se puede encuadrar 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 se realiza de forma manual.

Se comienza el proyecto en un nivel de madurez de la tecnología, TRL 1 (idea básica) y se espera alcanzar un nivel TRL 5-6. Para ello, se realizarán pruebas en un entorno relevante de los distintos componentes y del conjunto final (Ibáñez de Aldecoa Quintana, 2014).

A continuación, se indican las especificaciones técnicas que debe cumplir el robot. Una vez finalizado el diseño del equipo, realizado los prototipos y verificado su funcionamiento se elaborarán las especificaciones definitivas del equipo.

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.

Alimentación

La tensión nominal de alimentación serán 5 V, con una tolerancia de $\pm 5\%$.

Características físicas

El dispositivo debe imitar los pasos que se realizan de forma manual al envolver una pastilla de jabón (con el formato utilizado por la empresa). Deberá también tener un funcionamiento sencillo que simplifique el proceso de acabado.

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 debe estar preparado es de 5 a 40 °C.

Seguridad

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

El artículo ha sido organizado como sigue, después de esta breve introducción donde se habla de la temática y justificación del mismo. Posteriormente, se incluye la fase de diseño mecánico, hardware y software. Luego se hará un pequeño desarrollo e implementación de las soluciones planteadas con sus ventajas e inconvenientes, para finalmente presentar una serie de conclusiones.

2. Diseño

Se plantean tres principales áreas a desarrollar: diseño mecánico, diseño software y diseño hardware.

A lo largo de la etapa de diseño y montaje del robot, se plantean varias cuestiones con distintas posibles soluciones a tener en cuenta.

2.1 Diseño Mecánico

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

- **Madera MDF:** La madera de fibras de densidad media

tiene la ventaja de que puede ser mecanizada fácilmente y es bastante económica (unos 8 €/m²). Su principal inconveniente es su mala resistencia al agua, pero no incumbe para 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, tiene mayor coste (unos 20 €/m²).
- **Filamentos 3D:** Se trata de plásticos como el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), PLA (poliácido láctico), PETG (plástico poliéster de glicol) TPU (poliuretano termoplástico), etc. Esta opción conlleva otro proceso de fabricación distinto, más preciso y económico.

2.2.1 Tamaño variable de la 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) como se ve en la Figura 2.

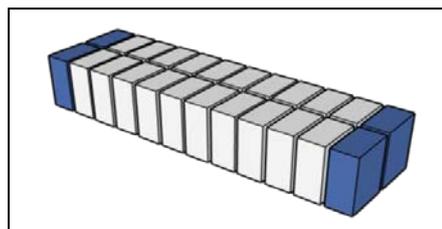


Figura 2. Muestras tomadas para la realización de medidas

Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 1 y 2. Posteriormente, se decidirá un 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

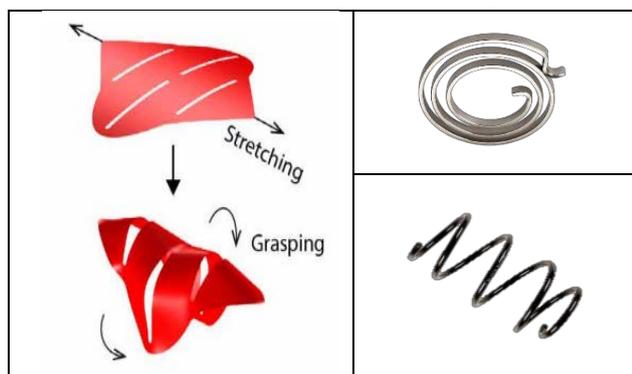
Tabla 1. Tabla de medidas de distintas pastillas de jabón

	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
Máxima desviación	5.5	4.6	4
Media	59.4	2	43.2
Mínimo	56	22.6	41.
Máximo	61	27.2	45.

Tabla 2. Resultados obtenidos de las mediciones

Para solucionar dicho problema, se han pensado estas soluciones:

- 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...) 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.
- Esta solución 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 (Villagarcía, 2021).
- 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, puede verse el funcionamiento en la Figura 3. Esta opción puede resultar útil para este trabajo ya que los jabones tienen variaciones de tamaño y el papel es considerablemente delicado (Holmes, 2021).


 Figura 3. Pinzas *kirigami* (Holmes, 2021). Muelles espiral y helicoidal

- 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 del tipo helicoidales para ajustar la estructura a cada tamaño de jabón. Estos tipos de muelles pueden verse en Figura 3.
- 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.

2.2 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.
- Interruptor ON/OFF.
- Interruptor START/STOP.
- Selector de modo de funcionamiento: manual/automático.
- *Display* LCD, en el que se indicará el modo de funcionamiento y el paso que se está realizando en cada momento.
- Pulsador para elegir el número de paso a realizar en modo manual.
- Servomotores que se encargan de mover las partes mecánicas.
- Placa de conexiones (*protoboard*).
- Microcontrolador para implementar todo el funcionamiento.

Para implementar el funcionamiento del robot, se ha decidido utilizar el entorno Arduino (Arduino, 2022), debido a que es universalmente conocido y resultará sencillo obtener información técnica.

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 (Misiego López, 2015).

- **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, pero cuenta con 54 pines digitales.
- **Cable de conexión.** Se calculará el diámetro en función de la corriente máxima que circulará por el circuito. Para ello, se utilizará el cable de alambre estándar AWG (Staples, 2021).

2.3 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 comprobará el modo de funcionamiento y el código se dividirá en dos partes. Una de ellas, correspondiente al modo automático, ejecutará la secuencia de movimientos definidos. La otra, el modo manual, leerá el paso a realizar y lo ejecutará.

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

Como no se dispone de un encoder para conocer la posición concreta del jabón en cada momento, la secuencia de movimientos se establecerá experimentalmente, midiendo el tiempo que necesita cada uno de ellos para llevarse a cabo.

3. Desarrollo de soluciones

En esta sección se indican y explican las distintas soluciones propuestas. El primero de ellos, finalmente descartado, ha servido de base para la consecución del segundo.

3.1. Solución 1

En esta solución se ha tratado de resolver el problema planteando una a una las dobleces 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 dobleces deseadas.

A continuación, en la Figura 4, se muestra el diseño mecánico realizado:

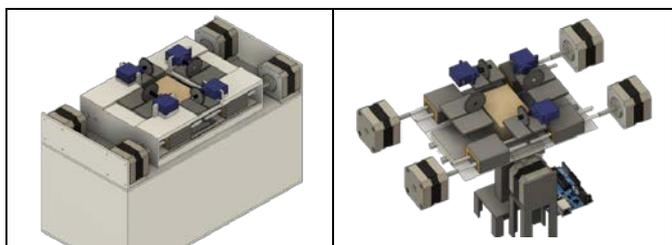


Figura 4: Algunos pasos propuestos

Los materiales empleados en esta solución son madera MDF para las partes de mayor superficie y sencillas de mecanizar, y filamentos de impresión 3D. Se planteó utilizar dos materiales distintos: TPU y PLA. El primero de ellos para algún bloque que requiere cierta flexibilidad, y el segundo para los restantes, cuyo diseño resulta complejo de realizar en madera.

Finalmente, esta solución se ha descartado porque se hacía uso de un número elevado de motores, y uno de los objetivos del proyecto es realizar un prototipo sencillo y económico.

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 envoltente. 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, 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. Solución 2

En esta segunda propuesta, Figura 5, 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.

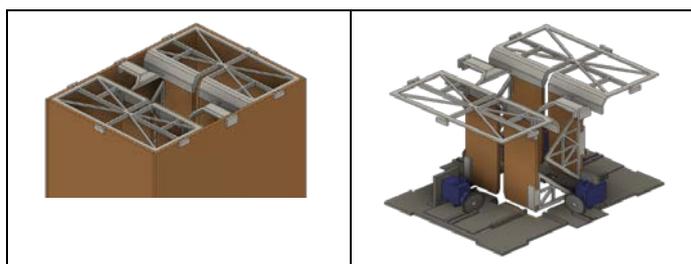


Figura 5: Maqueta desarrollada

Uno de los elementos más críticos del diseño ha sido el sistema de elevación. Los más comunes para hacer este tipo de movimientos en una sola dirección 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: Para subir la altura necesaria con una plataforma pequeña (las dimensiones no pueden superar las del jabón) serán necesarios muchos eslabones. Esto puede provocar que, debido a pequeñas irregularidades en la fabricación, el movimiento acumulado de todos los eslabones sea menos preciso.
- **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. 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 como se ve en la Figura 6.

Poniendo a prueba el diseño planteado, 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.

- 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.

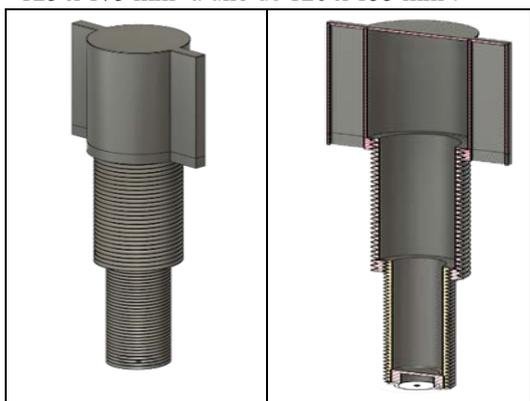


Figura 6: Mecanismo elevación telescópica

- Se ha diseñado un marcador de las dobleces del papel. Para ello, se han tenido en cuenta las dimensiones de un jabón medio. 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.

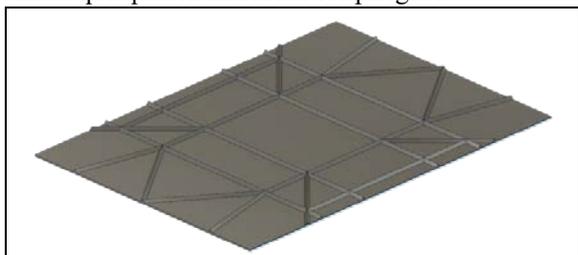


Figura 7: Primera versión del marcador de pliegues (canto redondeado)

3.3. Diseño hardware y software

Esta parte de diseño se ha llevado a cabo también de forma secuencial. Se han ido definiendo los distintos movimientos, teniendo en cuenta los elementos a utilizar y la forma de controlarlos vía software.

Como se indicó al inicio, se han utilizado 4 servomotores SG90, controlados en Arduino mediante la librería Servos.h.

Por otro lado, el motor paso a paso STH-46D004 que acciona el mecanismo de elevación, se controla mediante la librería Stepper.h. Se conecta mediante el controlador L298N.

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 12V, proporciona una salida de 5V que alimentará el microcontrolador, tal y como se ve en el esquema de la Figura 8.

4. Conclusiones

En conclusión, el desarrollo de este trabajo ha aportado una solución al problema planteado inicialmente. Se ha desarrollado un prototipo de robot que pliega un papel,

envolviendo así una pastilla de jabón. Aunque no está completamente funcional por el momento, se han logrado implementar y probar varias características importantes de lo que podría llegar a ser un diseño definitivo.

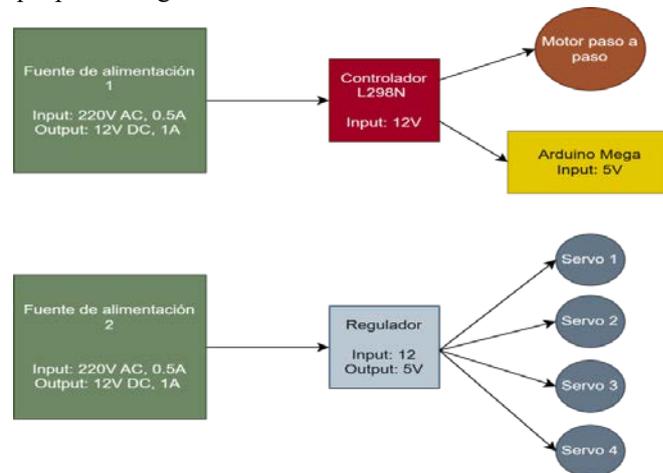


Figura 8: Esquema de alimentaciones

A pesar de limitaciones de recursos y maquinaria de mecanizado y fabricación se ha llevado a cabo la elaboración de una maqueta que plantea líneas de futuro interesantes a tener en cuenta. Entre ellas, sería interesante el planteamiento de automatizar el proceso completo de empaquetado. Esto incluiría el suministro de papel y pastillas de jabón sin envolver a la máquina de forma secuencial, y la extracción de las mismas una vez finalizado el proceso. También se plantea como línea de futuro implementar un mecanismo que permita colocar la etiqueta de la marca e ingredientes una vez finalizado el envoltorio.

Por otro lado, la envolvente podría modificarse para conseguir un diseño más ergonómico, cómodo y atractivo, ya que el actual se centra en la funcionalidad

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado parcialmente gracias al apoyo desinteresado de una alumna con iniciativas y esperando que pueda plasmar sus soluciones con apoyo del ITAP.

Referencias

- Arduino. (11 de abril de 2022). *www.arduino.cc*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de <https://www.arduino.cc/en/hardware#boards-1>
- García, D. I. (2022). *Prototipado y control de una mano protésica de bajo coste*. Valladolid: Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/TFG-I-2205.pdf>
- Holmes, D. (12 de Mayo de 2021). Grasping with kirigami shells. *Science Robotics*, 6(54). doi:10.1126/scirobotics.abd6426
- Ibáñez de Aldecoa Quintana, J. M. (2014). Niveles de madurez de la tecnología. *Economía industrial*, 393(0422-2784), 165-171.
- Misiego López, A. (2015). *Control de robots autónomos mediante microcontrolador Arduino*. Valladolid: Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/TFG-P-318.pdf>
- Staples, G. (21 de junio de 2021). *aladuidno*. Recuperado el 15 de Mayo de 2023, de <https://www.aladuidno.com.mx/blog/limites-de-voltaje-corriente-y-alimentacion-del-arduino/>
- Villagarcía, M. C. (2021). *Diseño de robots flexibles mediante neumática de baja presión*. Valladolid: Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/TFG-I-2129.pdf>