

Jornadas de Automática

Uso de herramientas 4.0 para el diseño de un robot

Moya, E. J.^a Marcos, E.^b Herreros, A.^a

^a Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Valladolid, Paseo Prado de la Magdalena 3-5, 47011, Valladolid España.

^b Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción, ITAP, Universidad de Valladolid, Paseo del Cauce, 59 - 47011 Valladolid, España

To cite this article: Moya, E. J., Marcos, E., Herreros, A. 2024. Uso de herramientas 4.0 para el diseño de un robot. *Jornadas de Automática*, 45. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2024.45.10972>

Resumen

Este trabajo muestra alguna de las herramientas que pueden incluir dentro de la Tecnología 4.0 para el diseño y construcción de un robot. En su conjunto, el trabajo ha tocado las áreas del diseño mecánico, el diseño hardware y el diseño software. Una de las herramientas utilizadas es *Fusion 360°*, que permite imprimir las piezas en 3D de forma que en este proceso de fabricación se puede iterar fácilmente la mecánica de las distintas piezas, perfeccionando así su funcionamiento. Como herramienta para los esquemas electrónicos se ha utilizado el programa *Kicard*, que posibilita en un futuro diseñar una placa base propia para la aplicación. Otra herramienta utilizada es la tecnología *Soft Robotic*, sustituyendo el actuador tradicional de un robot por uno neumático de baja presión. Como herramienta de hardware se ha utilizado un *Arduino* y para la parte de programación del software se ha utilizado el entorno correspondiente el cual 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. Todo ello aplicado a un robot para envolver pastillas de jabón.

Palabras clave: Robot, Manipulador, Arduino, Diseño Mecánico, Electrónico, Control, Impresión 3D, Tecnologías 4.0

Abstract

This work shows the tools that can be included within Technology 4.0 for the design and construction of a robot. As a whole, the work has touched the areas of mechanical design, hardware design and software design. One of the tools used is Fusion 360°, which allows parts to be printed in 3D so that in this manufacturing process the mechanics of the different parts can be easily iterated, thus perfecting their operation. The Kicard program has been used as a tool for the electronic schematics, which makes it possible in the future to design a motherboard of its own for the application. Another tool used is Soft Robotic technology, replacing the traditional actuator of a robot with a low-pressure pneumatic one. An Arduino has been used as a hardware tool and for the programming part of the software, the corresponding environment has been used, which has libraries to control the devices used. An attempt has been made to achieve a user interface that is easy to use, allowing the selection of a manual operating mode. All this applied to a robot to wrap soap bars.

Keywords: Robot, Manipulator, Arduino, Mechanical Design, Electronic, Control, 3D Printing, Technology 4.0

1. Introducción

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.

Dentro de este panorama, el trabajo presentado muestra las distintas herramientas utilizadas que se pueden considerar dentro de la Tecnología 4.0 enfocadas a la realización de un

prototipo de un robot para envolver pastillas de jabón, como ejemplo práctico de la aplicación de automatización.

Por ello se ha tratado un producto artesanal, ya que 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.

Por ello el presente artículo se puede encuadrar en el área de la robótica, incluyendo el diseño mecánico, la electrónica y la programación, aplicando los nuevos conceptos de la Industria 4.0. Además, el proyecto comienza cuando el 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).

1.1. Justificación del trabajo

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:

- *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 (Bafupackaging, 2024).
- *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. 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. (Acma, 2023).
- *Envolvedoras de papel para mantequilla y margarina*: Es el tipo de máquina utilizada en la industria que más tiene en común con el proyecto planteado son las envolvedoras de mantequilla. (Lekkerkerker, 2024.)

Una vez visto lo que existe en el mercado y comprobado que no servía para nuestra idea, se propuso la idea de diseñar y construir un robot capaz de envolver una pastilla de jabón de forma similar a la que se lleva a cabo, y cuyo material del envoltorio se denomina 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.

El artículo se ha sido organizado de la siguiente manera, después de esta breve introducción donde se habla de la temática y justificación del mismo., se ha pasado a describir en la sección 2 los objetivos que se persiguen. A continuación, se muestran los distintos pasos que trata de emular el funcionamiento deseado. En la sección 4, se incluyen las herramientas utilizadas para las fases de diseño mecánico, electrónico, control, 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, y las referencias utilizadas.

2. Objetivos

Por lo tanto, se parte del objetivo de controlar con cierta precisión los dobleces de este tipo de papel. No se ha estudiado la opción de cambiar el material del envoltorio (el concepto de diseño cambiaría completamente si se tratara de plástico termo retráctil, u otros materiales).

A parte de eso, también ha sido 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 envoltente.

Las pastillas de jabón son artesanales, por lo que se deben tener 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. (Villagarcía, 2021).

Para ello es necesario emplear la tecnología *Soft Robotic*, la cual 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. 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 habilitándose 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 ha hecho uso de una pantalla LCD que muestra un sencillo menú de funcionamiento. En él se ha incluido la opción de otro modo automático para su posterior desarrollo, ya fuera del alcance de este proyecto. El modo automático seguiría la secuencia de movimientos definida hasta completar el envoltorio.

Al final, el principal objetivo ha sido llegar a construir una maqueta, para lo que se ha intentado emplear el menor número de materiales posible, reduciendo así el coste. Para ello se ha desarrollado una solución que optimiza el número de motores necesario. También se han aprovechado 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 la elaboración de la estructura, el principal recurso empleado ha sido la tecnología de impresión 3D, que permite crear diseños con casi total libertad morfológica.

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

El trabajo se planteó el conseguir otros objetivos secundarios como son:

- *Conseguir una interfaz de usuario fácilmente manejable*: Para un primer prototipo, es imprescindible poder gobernar cada actuador individualmente de forma sencilla. Para ello, se ha propuesto realizar un pequeño menú en una pantalla que permita elegir el motor que se quiere controlar.
- *Tratar de que el robot tenga el menor tamaño posible*. Para futuras aplicaciones, resulta muy conveniente obtener un dispositivo cómodo de manejar y transportar.

- *Optimizar el tiempo de realización de un ciclo completo de envasado.* El control del tiempo es un factor que resulta conveniente que pueda modificar el usuario, en función de sus necesidades.
- *Elaboración de la documentación necesaria.* Se ha generado la documentación tal y como demanda la Industria 4.0 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.

3. Funcionamiento deseado

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.

Como se ha comentado, el robot imita los pasos realizados de forma manual. En un artículo anterior se explicaron los 10 pasos necesarios para realizar la envoltura manual (Marcos Delgado, E, et al, 2023), (Marcos Delgado, E., 2023)

Y tal como se realiza en la mayoría de los trabajos de prototipado, los primeros pasos han sido dar con la forma, estructura y funcionamiento de la maqueta que permitirán cumplir los propósitos iniciales.

4. Herramientas Tecnología 4.0

A continuación, se van a describir de forma somera las distintas herramientas utilizadas para dicho prototipado.

4.1. Diseño mecánico

Para la realización del prototipo, se planteó la posibilidad de utilizar distintos materiales (Madera MDF, Metacrilato, Plásticos de impresión 3D). Se optó por la última ya que permite obtener fácilmente cualquier diseño e iterar modificaciones de forma económica.

En primer lugar, se realizó un diseño teórico para entender y analizar distintas formas de plegar un papel, haciendo uso de bloques sólidos accionados por pequeños motores.

Con ayuda de algunas de las herramientas de Industria 4.0, (Autodesk, 2023) se plantea la posibilidad de realización de cada movimiento individual que ejecuta el plegado del papel envolviendo el jabón. 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., partiendo de bocetos y realizando posteriormente extrusiones, revoluciones, barridos o solevados, 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

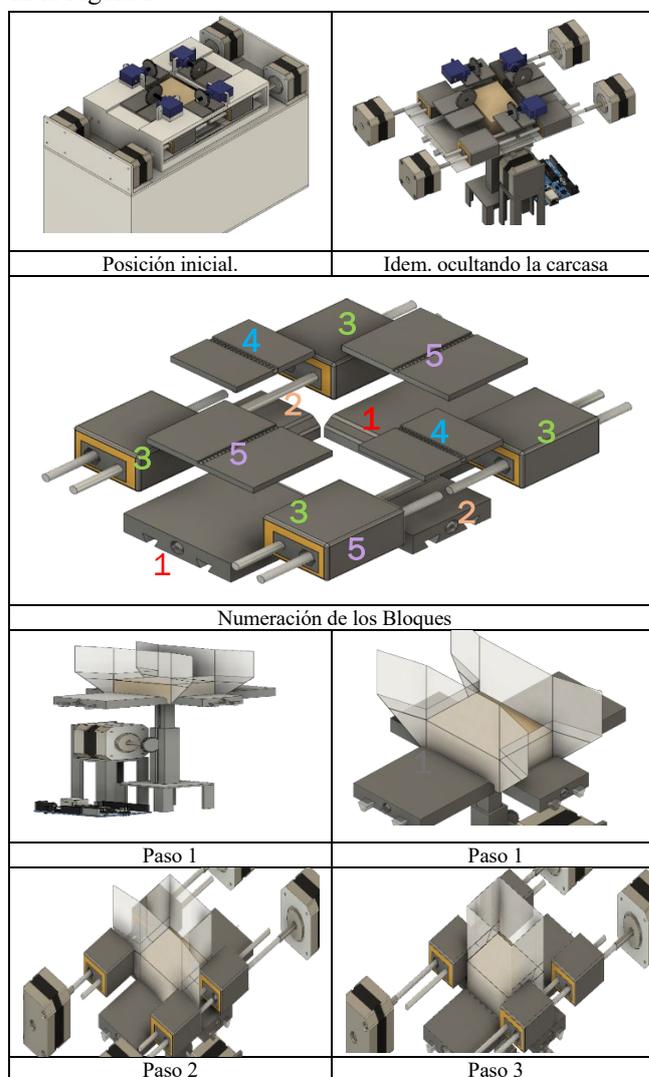
objeto, representando su superficie mediante una malla triangular. También, de cara a fabricaciones mecánicas de otro tipo (en madera, por ejemplo), permite obtener planos de cada componente diseñado.

Por otro lado, este software 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.

Principalmente, tiene como fin ilustrar la dinámica perseguida tratando de resolver el problema planteando uno a uno los 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.

Partiendo de este diseño inicial, se fue probando el comportamiento de las distintas piezas, fabricándolas en 3D mediante una impresora. En base a los resultados obtenidos, se fueron modificando para mejorar su funcionamiento.

A continuación, se muestra una simulación de la secuencia de movimientos que se realizan. Se parte de una posición inicial y a continuación toda la secuencia de pasos mostrados en la Figura 1.



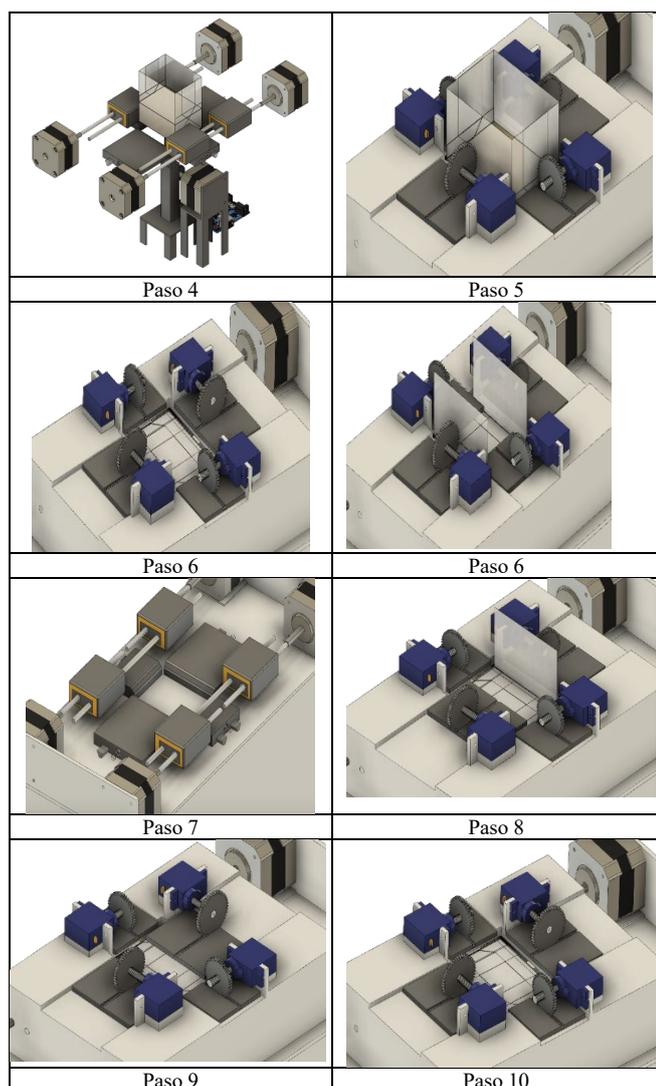


Figura . 1: Simulación de la secuencia de pasos del Funcionamiento Inicial.

En esta fase se probaron dos filamentos de impresión 3D, el PLA y el TPU. Este último, flexible, fue descartado debido a las dificultades que presentaba a la hora de conseguir un equilibrio entre flexibilidad y resistencia.

Para realizar dicha impresión se ha utilizado, *Ultimaker Cura*, (Ultimaker, 2024), el cual es 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, etc....

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.

Por último, se ha utilizado la herramienta, *SimplyPrint*, (Simplyprint, 2024), la cual es otro software 3D basado en la nube. Permite controlar las impresiones, proporcionando una interfaz sencilla de manejar. Conectando la impresora a red, el programa la detecta y le envía el código G obtenido previamente de *Ultimaker 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.

Se llegó finalmente a una solución que permitía economizar movimientos, de manera que se redujera al máximo posible el número de motores a utilizar. (Llamas, L., 2016). El movimiento principal se realiza en el eje vertical y se ha intentado que el mayor número de pliegues posibles sean realizables solo con este movimiento. En la Figura. 2 puede verse el resultado.

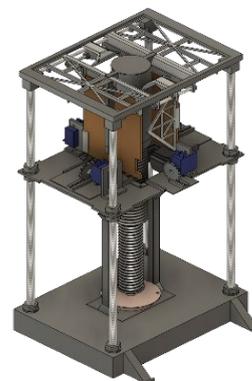


Figura . 2: Diseño mecánico final

El elemento protagonista ha sido el mecanismo de elevación empleado para realizar el movimiento en el eje vertical. Debía tratarse de un sistema capaz de mover la pastilla de jabón una distancia de aproximadamente 30 mm.

Los sistemas más comunes constan de un eje vertical sobre el que se desliza el elemento móvil. Esta solución no era posible en el modelo, ya que el eje interferiría con el papel de envoltorio. Se plantearon dos posibilidades: elevación de tijera y elevación telescópica, eligiéndose esta última porque en la tijera serían necesarios demasiados eslabones y se perdería estabilidad.

También se decidió el material de la estructura, que combina elementos estructurales de acero (varillas roscadas) con piezas clave para el funcionamiento de PLA. La base de la estructura completa se ha realizado en madera.

4.2. Diseño electrónico

Mediante un análisis inicial de las prestaciones que debía tener el robot manipulador, se eligieron los componentes eléctricos y electrónicos necesarios.

- *Fuente de alimentación* de 5 y 12 V.
- *Interruptor ON/OFF*.
- *Interruptor START/STOP*.
- *Selector 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* para mover las partes mecánicas. (SG90), controlado mediante una señal PWM.
- *Motor paso a paso* STH-46D004, circuito Puente H
- *Placa de conexiones* (protoboard).
- *Microcontrolador* para implementar todo el funcionamiento.
- *Cable de conexión*. Se calculará el diámetro en función de la corriente máxima que circulará por el circuito del Arduino elegido. Para ello, se utilizará el cable de alambre estándar AWG (Staples, aladuno, 2021)

Para el diseño electrónico, se ha utilizado la herramienta, *Kicard*, (Kicard, 2024), la cual consiste en un software gratuito, que permite crear esquemas electrónicos, diseñar PCBs y visualizar en 3D el resultado. Por un lado, el editor de esquemas de *KiCard* 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.

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. Para la integración, se ha utilizado un Arduino Mega, encargado del control, una protoboard, cables para el conexionado y fuentes de alimentación. (Misiego López, A, 2015)

Para accionar el mecanismo de elevación, se ha elegido un motor paso a paso bipolar. El modelo escogido ha sido el que cumplía mejor con las características necesarias, en función a una serie de ensayos entre los distintos modelos disponibles. Este tipo de motores está compuesto por un estator 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. (Holmes, D. 2021).

Además, para controlar este tipo de motores es necesario un circuito llamado puente H. Consta de cuatro interruptores, normalmente transistores, que se activan dos a dos, permitiendo que la corriente circule en un sentido o en otro (Figura 3, controladas por Arduino. (Pérez París, A. 2000).

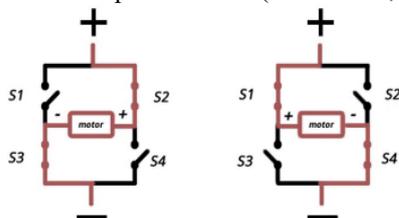


Figura. 3. Puente en H.

En este caso se ha utilizado el circuito integrado L298N y las conmutaciones de los interruptores son controladas mediante el Arduino (Staples, G. 2023). Tiene además una señal de paso (cada pulso es 1 paso para el motor, y en función de la frecuencia de los pulsos cambia la velocidad) y una señal de habilitación. (Sánchez Tembleque, F, 2021)

Este driver 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 en un futuro resultase 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. En la Figura 4, se puede ver un esquema para de las dos fuentes de alimentación.

En segundo lugar, para controlar los pliegues horizontales del papel sobre el jabón, se han elegido servomotores, ya que permiten controlar de forma sencilla la posición.

Por otro lado, se ha realizado una interfaz sencilla para que el usuario pueda mover los motores a las posiciones deseadas. Para ello, se ha incluido una pantalla LCD que muestra un menú de uso, tal y como se puede ver en la Figura. 5, junto

con su conexionado. (Damián, J., 2021)

4.3. Diseño hardware y software

La función principal del código de programación es recorrer el menú que se muestra en la pantalla. Se actualiza el display LCD para mostrar mensajes y se controlan los dos tipos de motores, el paso a paso y los servomotores. En la Figura 6 se muestra de manera sencilla la evolución del menú de uso por el cual se navega mediante pulsadores (Staples, G. 2023)

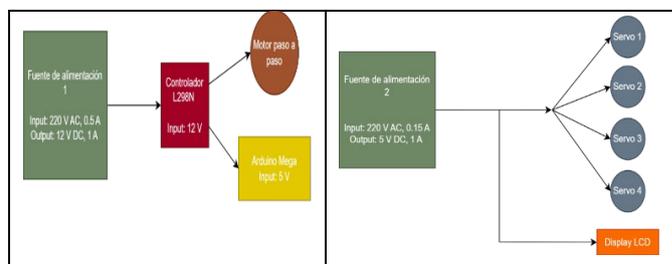


Figura. 4. Esquema para cada una de las fuentes de alimentación

Esta sección contiene tres elementos: 1) Una imagen de un servo motor conectado a un cable de 5V GND. 2) Un fragmento de código C++ en un entorno de desarrollo:


```
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);
}
```

 3) Una fotografía del prototipo electrónico montado en una protoboard, con un Arduino Mega y un display LCD.

Figura. 5. Conexiones de los servomotores y el Arduino Mega.

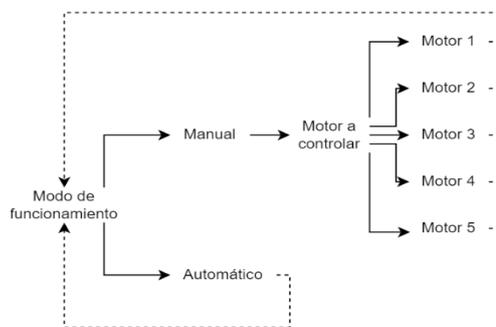


Figura. 6. Menú de uso mostrado en la pantalla LCD.

5. Construcción del prototipo

Partiendo del diseño realizado con el software Fusion 360°,

se han exportado los diseños y se ha obtenido el código G para poder fabricarlos en impresión 3D. Se ha seguido un procedimiento que incluye la configuración de los parámetros de impresión, la calibración de la propia impresora y la validación del acabado de cada pieza. (Autodesk, 2023).

La herramienta de modelado directo de Fusion 360 permite modificar la geometría de un modelo sin tener que editar las fases provisionales del modelo. Puede realizar cambios de diseño de forma eficaz sin provocar errores de modelado. El motivo principal es la disponibilidad de licencia para estudiantes.

El resultado final del prototipo fabricado se puede ver en la Figura 7.



Figura 7. Prototipo fabricado.

6. Conclusiones

Como ya se ha indicado, el objetivo principal era diseñar y construir un robot manipulador, capaz de envolver una pastilla de jabón de forma similar a la llevada a cabo manualmente.

Este trabajo es una aportación personal resultado del paso por las distintas asignaturas del Grado de Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática cursadas, en la EII de la UVA y de la experiencia obtenida en un Sistema de Intercambio entre Centros Universitarios de España, SICUE en la Universidad de Valencia.

Ganador en el XXI Premios Michelin al mejor Trabajo Fin de Estudios sobre Innovación, Calidad, Organización e Investigación (Marcos Delgado, E., 2023).

A continuación, se listan algunos de los objetivos cumplidos:

- Se ha empleado, para envolver, papel de cristal, y se han ejecutado los mismos pliegues que se realizan en el proceso manual, optimizando el número de pasos para disminuir el de tiempo empleado en la ejecución del ciclo.
- Se ha ido desarrollando el hardware, software y el control de la aplicación, mediante el microcontrolador Arduino Mega, desarrollándose un código, probando por partes cada uno de los elementos, que hace posible efectuar la lógica planteada, gobernando el motor paso a paso, los servomotores y la pantalla en función de las entradas proporcionadas por el usuario.
- Se ha desarrollado una interfaz que permite seleccionar en un menú, mediante el uso de tres botones, la ejecución de movimientos que se desea realizar, eligiendo qué motor se desea mover y permite el control en ambos sentidos, dentro de los límites físicos establecidos vía software.

- Se ha conseguido un tamaño adecuado del conjunto lo cual permitirá 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.
- En cuanto a las líneas de mejora será necesario hacer un seguimiento exhaustivo de los 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.

Agradecimientos

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

Referencias

- Acma. (2023). Recuperado el 11 de Mayo de 2023 de <https://www.acma.it/en/solutions/product/sw-550-z>.
- Arduino. (2022). www.arduino.cc. Recuperado el 18 de Marzo de 2024, de <https://www.arduino.cc/en/hardware#boards-1>
- Autodesk. (2023) Recuperado 25 de Junio de 2023 de <https://www.autodesk.es/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>.
- Bafupackaging, (2024). Recuperado el 18 de Marzo de 2024 de <http://www.bafupackaging.com/>
- Damián, J., (2021) *Electrogeek*, Recuperado el 9 de Junio de 2023 de <https://www.electrogeekshop.com/tutorial-conectando-una-pantalla-lcd-1602a-a-arduino-uno/>.
- 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. (2020). Niveles de madurez de la tecnología. Economía industrial, 393(0422-2784), 165-171.
- Kicad. (2024) Recuperado el 18 de Marzo de 2024 de, <https://www.kicad.org/>.
- Lekkerkerker. (2024). Recuperado el 18 de Marzo de 2024 de <https://lekkerkerker.es/maquinas/envasado-de-mantequilla-margarina>.
- Llamas, L., (2016). Recuperado el 15 de Marzo de 2023 de. <https://www.luisllamas.es/tipos-motores-rotativos-proyectos-arduino/>.
- Marcos Delgado, E., (2023) Diseño y construcción de un robot para envolver pastillas de jabón. Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/TFG-I-2683.pdf>
- Marcos Delgado, E., Moya, E. J., Herreros, A.(2023). Diseño de u robot pa envolver pastillas de jabón, Zaragoza, 6-8 Septiembre, 2023. XLIV Jornadas de Automática, pags, 685-690, <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497498609.685>.
- Misiego López, A. (2015). Control de robots autónomos mediante microcontrolador Arduino. Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/TFG-P-318.pdf>
- Pérez París, A., (2000). Motores paso a paso, introducción a su funcionamiento y control en lazo abierto. Revista de Comunicación Vivat Academia, vol. III, nº 17, Julio 2000.
- Sánchez Tembleque, F., S. Alvarino, R. Couto y Manuel, (2021) «bricolabs.cc»,l 2021. Recuperado el 16 de Abril de 2021: https://bricolabs.cc/wiki/guias/control_de_motores.
- Simplyprint, (2024), Recuperado el 18 de Marzo de 2024 de <https://simplyprint.io/>
- Staples, G. (2023). aladuino. Recuperado el 15 de Mayo de 2023, de <https://www.aladuino.com.mx/blog/limites-de-voltaje-corriente-y-alimentacion-del-arduino/>
- Villagarcía Martín, C. (2021). Diseño de robots flexibles mediante neumática de baja presión. Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/TFG-I-2129.pdf>
- Ultimaker, (2024). Recuperado el 18 de Marzo de 2024 de <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>