

MÁQUINA CLASIFICADORA DE PRODUCTOS CON ESTAMPADO FINAL

Daniel Vahos , David Upegui , Mauricio Tobón , Santiago García,

Estudiantes Universidad EIA, Envigado, Antioquia.

*Correos: daniel.vame@gmail.com , davidupegui334@hotmail.com , mauriciotobong@hotmail.com,
santiago.garcia1999@hotmail.com*

Abstract: El presente informe nos introduce una explicación detallada del proyecto integrador de oleoneumática industrial en el cual se ven inmersas varias asignaturas de la ingeniería mecatrónica como lo es el control análogo, la mecánica de materiales, los circuitos electrónicos, entre otras. El objetivo del proyecto es convertir un proceso manual en algo automatizado gracias a la neumática y a los temas vistos en clase de oleoneumática, el proceso será una estampación de cajas dependiendo de su color, o simplemente su no estampación debido a que no cumple los estándares.

Keywords: Circuitos, neumática, sellos, cajas de color, sensor, estampados.

1. INTRODUCCIÓN

La automatización industrial hace parte de una de las ramas más importantes y novedosas del desarrollo actual de la sociedad, siendo un pilar fundamental en el ámbito tecnológico, científico y económico. Es por esto que el correcto aprendizaje y formación en estos procesos de innovación es clave para fomentar el desarrollo mecatrónico y personal, pues va desde la calidad humana con las personas en la planta o lugar industrial, hasta el aprendizaje evolutivo con las nuevas tecnologías y mecanismos de trabajo de la actualidad con base en la cuarta revolución industrial.

Hoy en día existen cada vez más fábricas y lugares de desarrollo industrial, con características más avanzadas para la producción efectiva y ágil de los productos de las empresas manufactureras, siendo estas un área principal en el movimiento económico a nivel mundial. Por ejemplo China ha tenido un

PIB alrededor del 30% durante los últimos 5 años (Banco Mundial, 2017), y esta cifra la ha logrado constantemente con sus procesos de industrialización tan organizados y cada vez más óptimos.

Gracias a la automatización, se ha podido incrementar la producción en términos muy considerables, disminuyendo los costos y generando mayor competitividad en la industria. Esta ha partido del hecho de simplificar gran cantidad de trabajos repetitivos y en algunos casos peligrosos, reemplazando la mano de obra por sistemas mecanizados que poco a poco se fueron motorizando hasta llegar a los sistemas autónomos e inteligentes de última tecnología que tenemos en la actualidad.

Paralelo a este desarrollo en la automatización, se ha mantenido la polémica de que esta ha sido una gran causa del desempleo; sin embargo, muchos economistas y otros expertos en el tema han sostenido que estas tecnologías han generado a su vez, más empleo del que han quitado, llevándolos a tener nuevos trabajos que

antes ni existían y que poco a poco se irán haciendo más comunes (Xataca Robotics, 2018). Además, teniendo en cuenta los grandes aspectos positivos que generan a nivel de costos, producción, desarrollo y principalmente calidad de vida, ha sido un camino muy importante para optar, tomándolo no como un peligro, sino como una transición, un cambio necesario y oportuno para el mundo.

2. DISEÑO

2.1. Estado del arte:

El objetivo del proyecto busca la facilitación y la eficacia en proyectos de selección y clasificación, pues en muchas de las visitas empresariales realizadas en la asignatura esto es de suma importancia, ya que es necesario que un producto esté en óptimas condiciones de diseño y que su impresión en el empaque esté correcta, por otra parte es importante también clasificar diferentes productos y tener un registro en tiempo real para así poder llevar un inventario más óptimos y adecuado.

El mercado de este tipo de máquinas es destinado a todo tipo de industrias que tengan en su proceso la empaquetadura e impresión de logos, marcas e identificación de los productos.

Ventajas:

La ventaja principal es la reducción de tiempos, debido a que un operario tardaría mucho más tiempo revisando cada etiqueta y posteriormente plasmando el sello correspondiente dependiendo del producto. Además se garantiza de forma adecuada la seguridad total del trabajador, pues un error en el proceso puede significar heridas si no se lleva el control automatizado y protegido.

2.2. Objetivos:

Desarrollar una máquina con los implementos del laboratorio capaz de identificar colores determinados para así poder estampar un sello característico y luego clasificarlas dependiendo

del sello, así mismo clasificar las que no cumplan estándares.

Luego del proceso de estampado, se pueden obtener productos con una calidad excelente, con un margen de error mínimo y efectuado con el tiempo adecuado para la mejor estampación. A continuación, se presentan varios ejemplos de estos estampados en industrias de alta calidad y con maquinarias similares a las presentadas en este proyecto.



► SECTOR ALIMENTOS

Figura 1. Producto alimenticio con estampado respectivo. Adaptado de (Google, 2016).



Figura 2. Producto para envío con estampado para la distribución respectiva. Adaptado de (Chilexpress, 2019).

2.3. Concepto:

El concepto fundamental de este sistema se basa en la correcta clasificación de los diferentes productos; en el caso de nuestro proyecto, cajas azules y cajas verdes; y a su vez de la adecuada separación y disposición de los productos contraproducentes al sistema, en nuestro caso, las cajas rojas.

Principalmente, identificando su presencia a través de un sensor ultrasonido y clasificándolas con su estampado por medio de un sensor de color, para luego ser dispensadas como producto listo para la comercialización, o siendo el caso de las cajas rojas, para el desecho o disposición como residuo.

2.4 Materiales:

La estructura se construyó con madera MDF de 5.5mm de espesor. Se eligió en estas características con el objetivo de tener en la estructura un grosor lo suficientemente ancho para mantener la estabilidad del sistema, siendo esta la medida perfecta para también mantenerlo ligero y fácil de trasladar.

La torre donde se disponen los productos preparados para el proceso de estampación se construyó con unas medidas de 15cm x 32cm, teniendo una capacidad para 3 cajas.



Figura 3. Madera cortada en láser para ensamble de almacenador.

Estos diseños fueron elaborados en Inventor®, y luego impresos en el cortador láser de la universidad EIA.

Cada caja fue elaborada del mismo material con unas medidas de 10cm en cada lado.

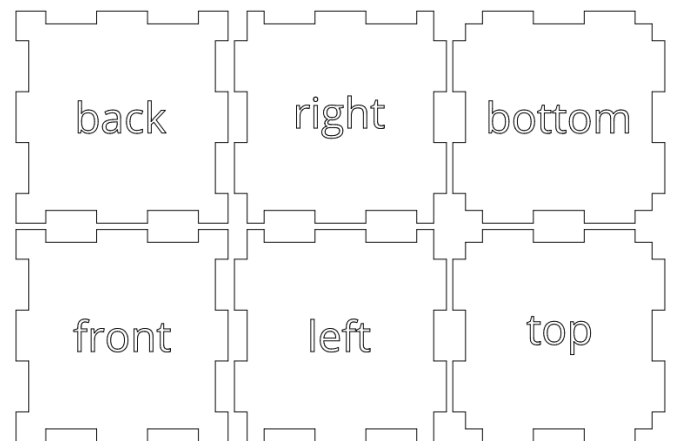


Figura 4. Esquema para impresión de las cajas de colores.

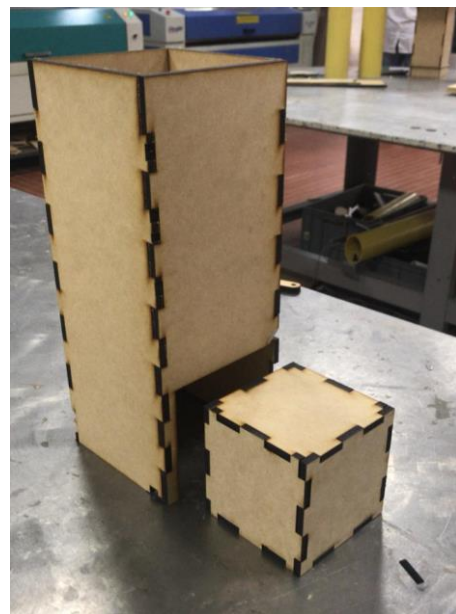


Figura 5. Dispositivo almacenador de cajas previo a la estampación.

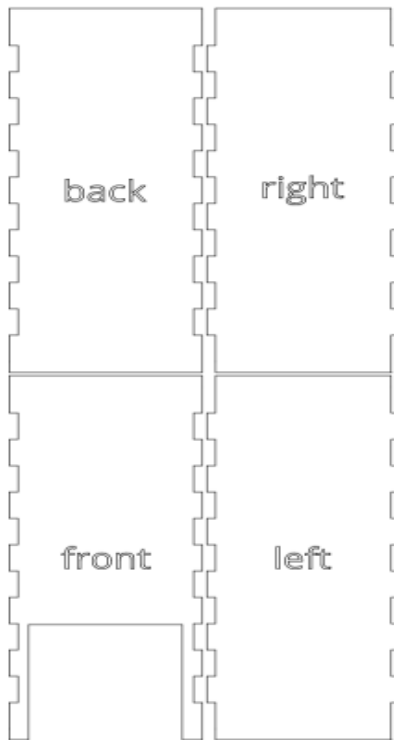


Figura 6. Esquema de dispositivo para Almacenamiento.

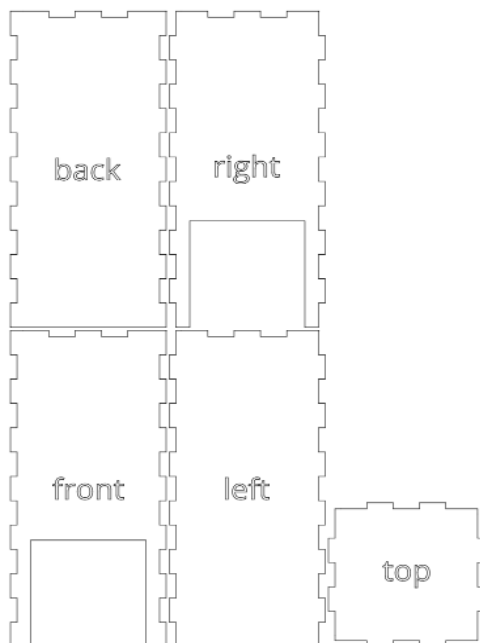


Figura 7. Esquema de dispositivo para proceso de estampado.

La estructura en la que van ubicados los pistones para el proceso de estampación tiene las mismas medidas de la torre; sin embargo, esta tiene un techo en la parte superior en la que únicamente se dará espacio a través de unos

agujeros para permitirle el paso a los pistones de estampar en el momento oportuno según el correspondiente al color de la caja.

Implementos utilizados:

Caladora: El objetivo principal de la caladora es cortar con precisión los materiales, en este caso, la madera, con cortes principalmente rectos.

Esta se utilizó para abrir los agujeros rectangulares que dan espacio a la salida y entrada de las cajas tanto en el recipiente inicial como en el del proceso de estampación.

Posteriormente mostraremos ilustrativamente la caladora.



Figura 8. Caladora empleada en el proceso de corte de madera. Adaptado de (Homecenter, 2019).

Taladro: Su principal objetivo es mecanizar los agujeros que se hacen en las piezas. Se utilizó para abrir agujeros relativamente pequeños, principalmente para darle un espacio a la caladora para que haga su corte recto. Los agujeros más grandes se hicieron con la troqueladora.



Figura 9. Taladro empleado en proceso de creación de productos.

Motor Tool: se empleó para facilitar la manufactura de los agujeros y orificios correctos para el ensamble.



Figura 10. Motortool.

Cortadora láser de madera:

Se utilizó la cortadora láser para ejecutar los cortes que llevarían a la construcción de las distintas estructuras del sistema. El diseño tanto de las cajas como de ambas torres, se elaboró a través del programa MakerCase. Posteriormente se muestra una imagen de la cortadora láser.



Figura 11. (Barch, 2019).

Martillo: Se usó para martillar los clavos.



Figura 12. Martillo.

Sierra Sin Fin: facilitó el proceso de corte.



Figura 13. Sierra sinfín. Adaptado de (Beltec Herramientas, 2019).

Prensa Troqueladora: La utilizamos para hacer los agujeros del pistón inicial, el encargado de trasladar las cajas para el punto de estampación; los dos agujeros superiores de donde salen los pistones para estampar y el último agujero en la parte trasera de la segunda estructura para darle salida al pistón encargado de trasladar las cajas a su punto final.

Para realizar los agujeros, se tomaron las medidas de la base de los cilindros, dando como conclusión a la implementación de una broca del grosor adecuado.



Figura 14. Prensa Troqueladora. Adaptada del taller de Metalmecánica Universidad EIA.

Lista de materiales:

- 4 pistones neumáticos. (Dispensador, 2 estampadores y 1 para expulsar).
- 4 electroválvulas 5/2.
- Válvulas reguladoras de caudal.
- Madera.
- Sensor GY-31 (color).
- Sensor HSR04 (ultrasonido).
- Arduino UNO.
- 4 relés 24V.
- Leds.
- Cable de cobre.
- Manguera.
- Protoboard.

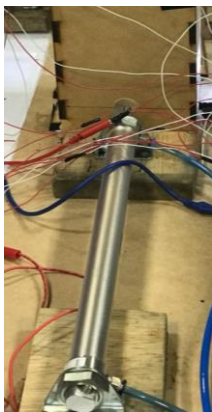


Figura 15. Pistón dispensador.

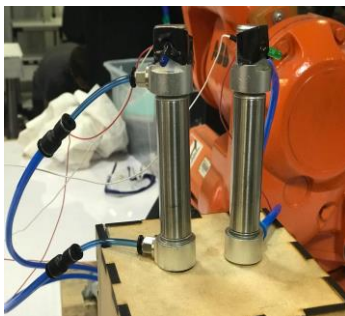


Figura 16. Pistones estampadores.

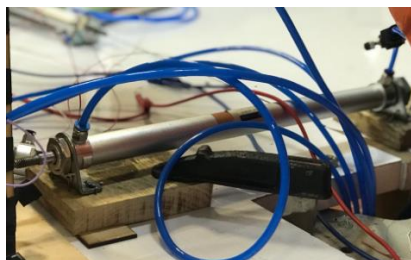


Figura 17. Pistón para expulsar luego del estampado.



Figura 18. Válvula reguladora de caudal. Adaptada de (Festo didactic, 2019).

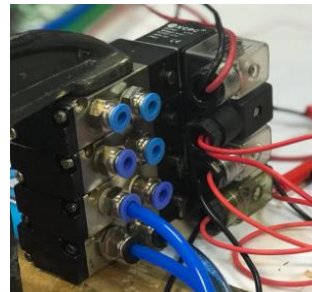


Figura 19. Electroválvulas 5/2. Adaptado de (Festo didactic, 2019).



Figura 20. Sensor GY-31. Adaptado y adquirido de (Electrónica I + D, 2019).



Figura 21. Sensor de Ultrasonido HCSR04. Adaptado y adquirido de (Electrónica I + D, 2019).



Figura 22. Arduino UNO. Adaptado y adquirido de (Electrónica I + D, 2019).



Figura 23. Relé de 24V (DC). Adaptado de (NCR Industrial, 2019).



Figura 24. Protoboard. Adaptado y Adquirido de (Electrónica I + D, 2019).

2.5 Funcionamiento Mecánico y Neumático

El funcionamiento neumático consta de 4 electroválvulas neumáticas 5/2, 4 pistones neumáticos y de 4 válvulas reguladoras de caudal. La caja es llevada del dispensador a la zona de estampado mediante un pistón y es guiada por unos rieles para que no se desvíe, posteriormente es estampada por el pistón de caja verde o azul, sin embargo, si el color es rojo, no es estampada, y finalmente mediante un último pistón es expulsada hacia otro proceso. El control de las válvulas electroneumáticas será explicado más adelante en el documento sobre el control electrónico.

Además, es fundamental tener en cuenta que el tamaño de los pistones de trabajo es de pequeña magnitud (tanto diámetro como longitud), por lo que la madera MDF cumple las condiciones de esfuerzo y fatiga necesarias para una vida infinita del sistema, sin embargo, si se planea diseñar esta condición a largo plazo y con condiciones reales de temperatura y presión industrial, se debe tener en cuenta la fuerza asociada a cada pistón estampador se calcula

con la presión de trabajo y el área del mismo, porque la inercia de estos puede significar daños en el soporte y presentar fallas a largo plazo.

También, al proyectar el sistema a un nivel más automatizado, los acoples de los pistones y sus respectivas distancias de trabajo deben ser cuantificadas con mayor precisión y garantizar que no haya superficies con desgaste por fricción de los pistones, pues esto puede alterar el funcionamiento correcto.

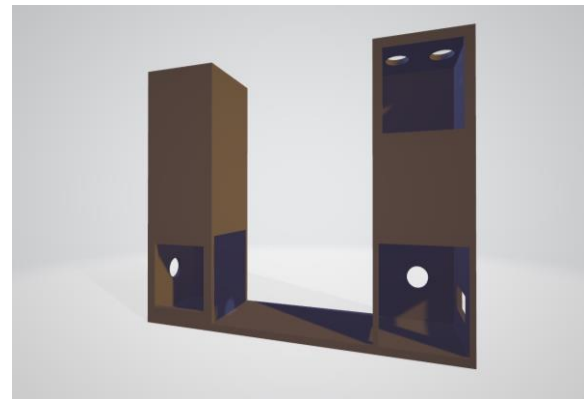


Figura 25. Esquema 3D modelado en CAD. (Autodesk, 2000).

El plano electroneumático trabajado es el siguiente:

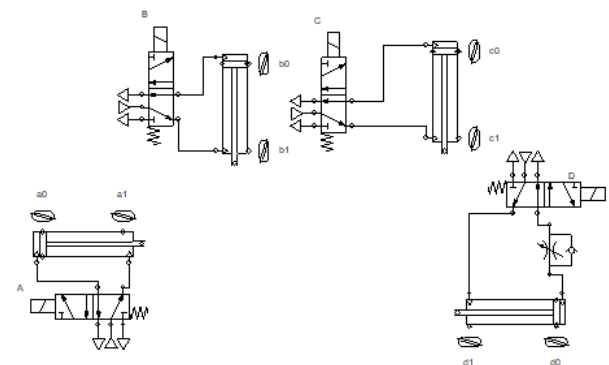


Figura 26. Plano neumático del sistema. Desarrollado en (Famic Technologies inc, 2019).

Sin embargo, la programación real fue elaborada en dos estructuras GRAFCET y Arduino. La primera la podemos visualizar en la siguiente imagen, pero no fue la final del proyecto, debido a la complejidad de identificar colores desde el PLC.

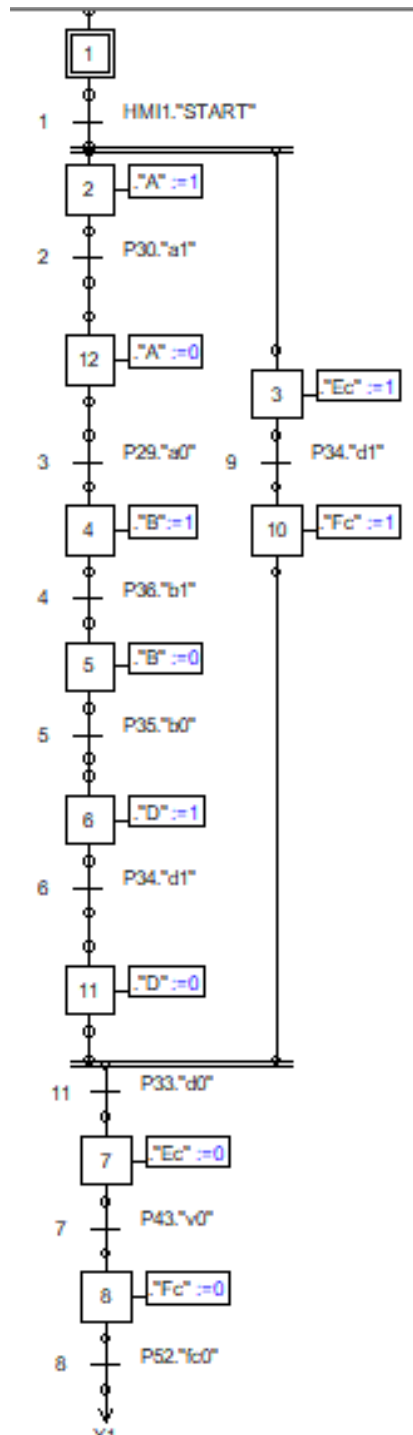


Figura 27. Programación esquemática en GRAFCET para uno de los procesos de estampado. Adaptado y elaborado en (Famic Technologies inc, 2019).

2.6 Funcionamiento Electrónico

Como se mencionó anteriormente, el diseño electrónico consta de dos circuitos principales de funcionamiento. El primero está asociado al microcontrolador Arduino Uno, con el microchip Atmega 328P (Arduino, 2019) y el segundo está relacionado con el adecuado funcionamiento de las válvulas direccionales electroneumáticas activadas por solenoides. La razón por la que se divide el sistema en dos circuitos diferentes es porque el Arduino trabaja a una diferencia de potencial eléctrico de 5V, mientras que los solenoides con el valor industrial de 24V y corrientes eléctricas mayores que pueden dañar el microprocesador.

El objetivo fundamental es poder llevar a cabo el proceso de estampación, con ayuda del botón inicio y de los datos basados en los sensores de color GY31 (Maker Robotics, 2019) y el sensor de ultrasonido HC-SR04 (How to Mechatronics, 2018).

Para poder llevar a cabo el ciclo con ayuda de las entradas analógicas y digitales respectivas, se desarrolló el siguiente montaje electrónico entre los sensores, el microprocesador, los relés y los solenoides:

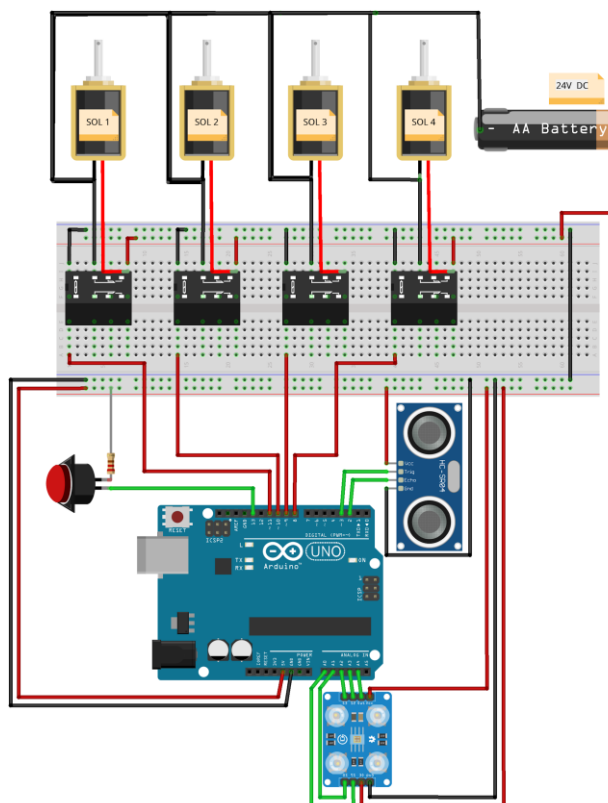


Figura 28. Esquema conexiones electrónicas entre Arduino, sensores, relés y solenoides. Desarrollado en Fritzing®.

Además, es importante tener presente que los relés se activan con un voltaje de 5V desarrollado por las señales desde las salidas digitales del Arduino bajo el siguiente esquema:

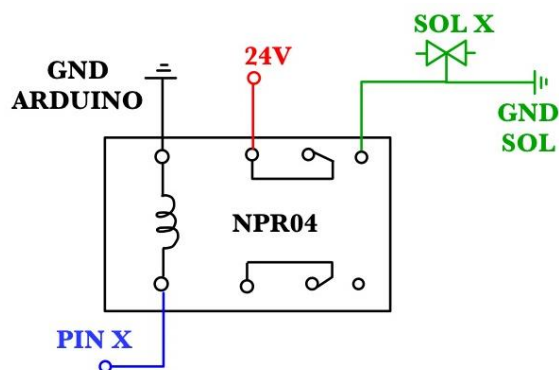


Figura 29. Esquema de conexión para el funcionamiento de los relés y solenoides.

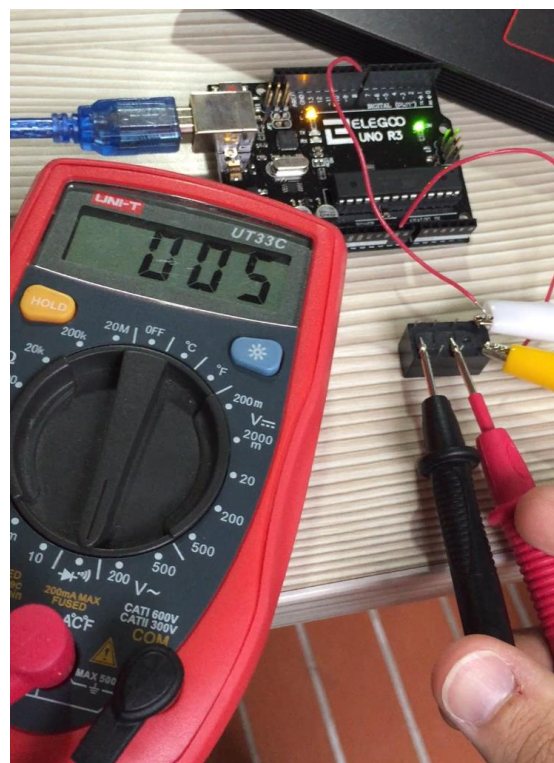


Figura 30. Memoria sobre validación de activación de los relés con Arduino.

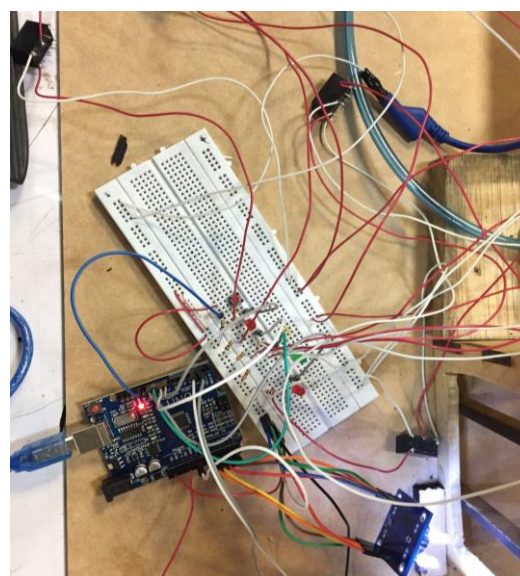


Figura 31. Conexiones reales de diseño electrónico. Tomado en Laboratorio de Automatización de universidad EIA.

Luego de realizar el montaje electrónico, se procedió a desarrollar el código principal en el lenguaje de Arduino, de tal forma que ejecuta la lógica de programación de la siguiente forma:

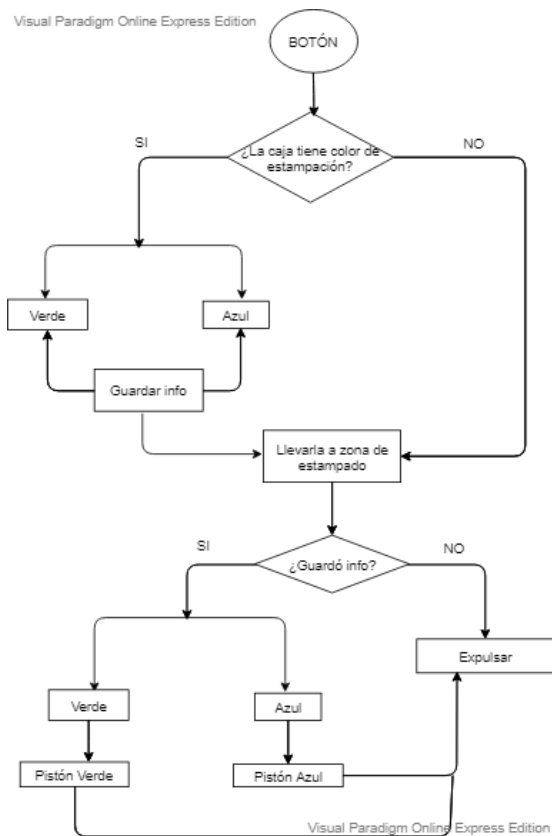


Figura 32. Diagrama de Flujo para programación de Microprocesador.

En primer lugar, la identificación del color se realiza con el sensor GY31 mencionado anteriormente, este proceso consta de la adquisición estratégica de las frecuencias de la longitud de onda de la luz a través de filtros de entrada de color rojo, verde, azul y blanco. Estos datos se convierten de forma análoga en una onda de voltaje que puede tomar valores respectivos en un rango limitado. Mediante este algoritmo se pudo condicionar las entradas para identificar rangos de color con tonos verdes, azules y rojos. Así mismo, se almacena en una variable interna la variable leída al comienzo del ciclo.

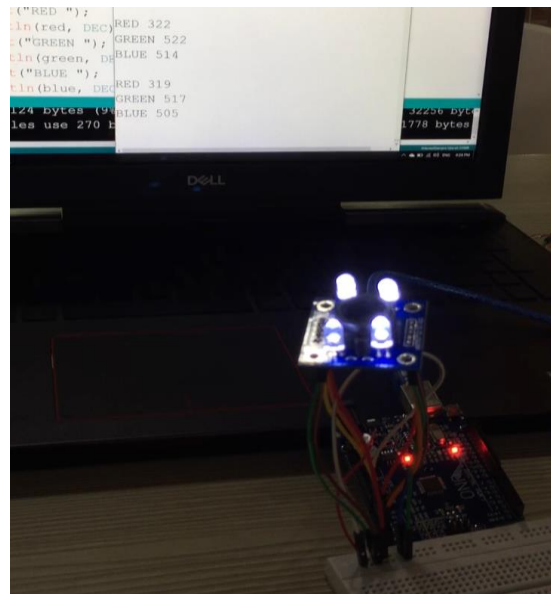


Figura 33. Memoria de proceso para calibrar sensor según color analizado.

Luego de identificar el color, se procede a enviar señal digital desde el Arduino, a través del relé y finalmente será activado el solenoide inicial con 24V. Este proceso tiene un tiempo programado que está condicionado con el tiempo en el que el primer pistón toma en finalizar su carrera.

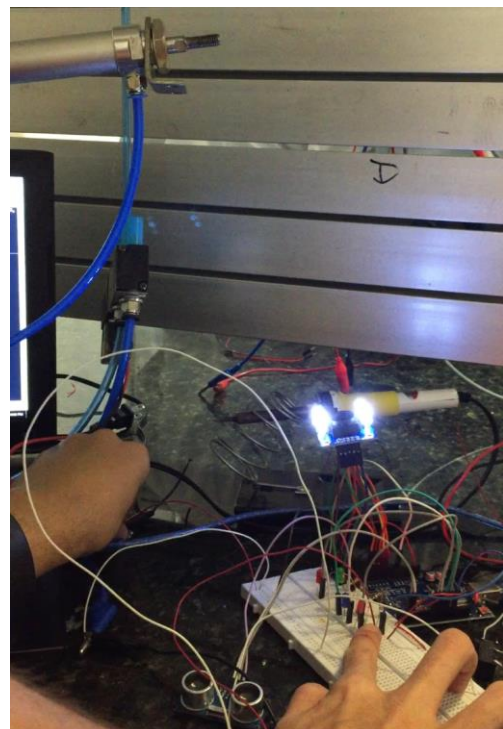


Figura 34. Memoria de control del solenoide y del cilindro desde el Arduino.

Al finalizar la carrera del primer pistón, se verifica en un ciclo infinito la condición de llegada de la caja al lugar de estampación. Este parámetro se efectúa con ayuda del sensor de Ultrasonido HC-SR04 y funciona mediante la emisión de pulsos de sonido por debajo del espectro audible y se retroalimenta con la recepción de estos pulsos. Mediante la diferencia relativa de tiempos entre la emisión-recepción y con un factor asociado a la conversión de unidades, se puede programar con procesamiento en bits la distancia neta del objeto más cercano al ultrasonido. En este caso se midió la distancia y fue de 4 cm, por lo que en el código se continúa con la estampación al llegar a estar en esta distancia.

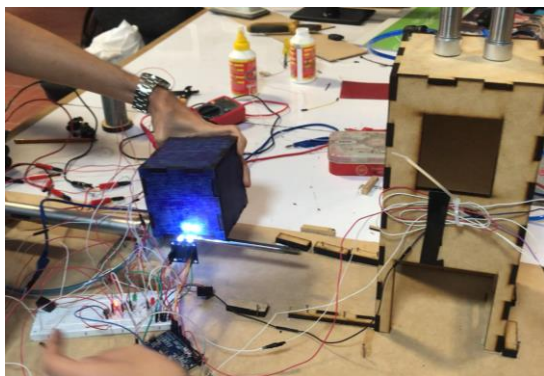


Figura 35. Calibración sensor distancia y color en montaje real. Tomada en Laboratorio de Automatización de universidad EIA.

En este instante del ciclo, se realiza un condicional que depende del color almacenado al comienzo y esta variable determinará si se stampa con el cilindro asociado al color azul, al color verde, o se descarta el producto sin realizar ningún tipo de estampado. Luego se mandan las señales respectivas y en caso de realizarse estampado, los cilindros deben permanecer un tiempo mientras se termina la estampación correcta. Esto se ejecuta con ayuda de un temporizador interno del Arduino.

Para finalizar, se crea además una vector numérico que lleva la información del número de cajas que se han producido según color. Esta

variable es la que posteriormente se enviará mediante el puerto Serial al computador.

Luego de correr la programación completa, se desarrolló una interfaz gráfica para que el operario pueda tener el control del sistema, de las cajas y del número de cajas que debe despachar en cierto tiempo. Es por esto por lo que se empleó la programación orientada a objetos, junto con el lenguaje de programación Python (Python TM, 2019) para poder ejecutar esta labor.

La interfaz final para el operario se visualiza de la siguiente forma:



Figura 36. Interfaz gráfica HMI para facilidad del operario. Desarrollada en (Python TM, 2019).

Finalmente, la interfaz para el operario conocida como HMI (Human - Machine Interface) se logró crear con ayuda de la librería Tkinter (Python Tkinter Resources, 2019) y se efectuó la comunicación Serial con ayuda de la conexión del puerto USB. Los datos y códigos del programa se agregan en los anexos enviados.

2.7 Proceso real de las estampadoras

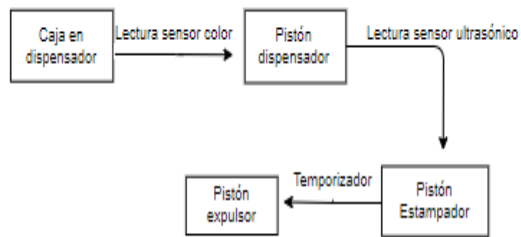


Figura 37. Diagrama de bloques del proceso de estampado.

Este diagrama es una simplificación de los procesos que se llevan a cabo en las industrias automatizadas, pues omite ciertos pasos de regulación y seguridad en él. Sin embargo, la esencia del proceso es la misma y se puede llevar a cabo la lógica para realizar la manufactura correcta según los productos.

En las fábricas de estampado real, estas máquinas están compuestas por materiales de alta calidad, con sus respectivos reguladores y componentes de seguridad total. Así mismo, todas tienen en común el filtro FRL del aire comprimido y el pistón neumático o hidráulico asociado al proceso de estampación. Según el tipo de estampación o necesidad de marca, se establecen diferentes manufacturas del mismo, por ejemplo, si se requiere estampar una prenda de vestir, se emplean pistones neumáticos y las presiones del sistema no son tan elevadas. Sin embargo, si la estampación es mediante troquelado o marcas en superficies con alta resistencia mecánica, se opta por emplear procesos de carácter hidráulico y con prensas de mayor resistencia, pues en estos sistemas se producen normalmente las fallas por los acoples y no por el cilindro como tal.

819C/C3

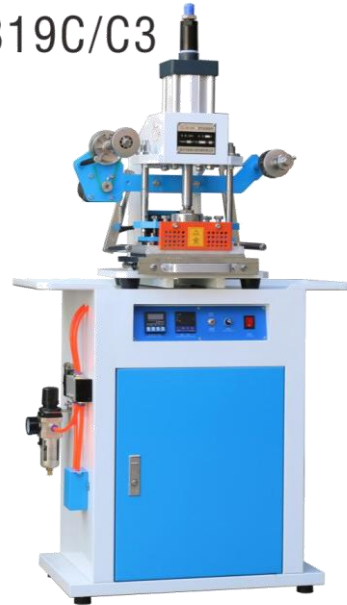


Figura 38. Máquina de estampación neumática para elementos de cuero. Adaptado de (NEJE Industrial Machines, 2019).



Figura 39. Sublimadora hidráulica. Adaptado de (Yamata Hydraulics, 2017).

Además, es importante tener en cuenta que estas máquinas no tienen el proceso automatizado de llegada de los productos, por lo que nuestro sistema tiene el valor agregado de permitir un ciclo continuo indefinido con los productos provenientes del área de procesos anterior.

2.8 Animación en Automation Studio

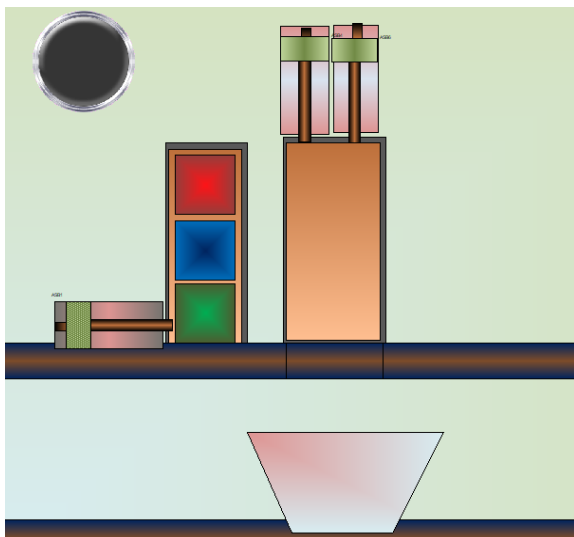


Figura 39. Interfaz de simulación esquemática en Automation Studio. Desarrollado en (Famic Technologies inc, 2019).

Como se puede observar, la simulación fue desarrollada en el Software AS, con ayuda de la programación lógica de carácter GRAFCET, en donde a través de las etapas y transiciones del sistema según los sensores y accionamientos respectivos, se logró llevar a cabo el adecuado funcionamiento del ciclo. Este esquema permitió verificar el funcionamiento real y explicar didácticamente el proceso de estampación buscado.

Sin embargo, la representación real del sistema tuvo cambios significativos en el diseño mecánico por la facilidad de la implementación de estos. Es por esto que la salida del producto hacia la parte inferior, realmente se realiza con un movimiento del último solenoide hacia el exterior o donde se encuentra el operario.

3. Análisis de resultados:

Luego de realizar el proyecto y de terminar el montaje, como resultado primario se observa que el proceso continuo y sistemático de validación y verificación de códigos es fundamental. Es decir, al implementar más pasos en el sistema, es importante la retroalimentación de estos de forma sencilla. Esto hace el proceso un poco más largo, pero se asegura el funcionamiento correcto de todos los pasos intermedios que deben funcionar al tiempo.

3.1. Inconvenientes:

En el desarrollo del proyecto la mayoría de los inconvenientes provenían de la parte de los sensores, ya que al inicio teníamos unos de bajo costo lo cual implicaba una muy baja precisión, la solución a esto fue realizar una inversión mayor y adquirir 2 sensores, el GY-31 y el HSR04.

Otro inconveniente surgió al detectar los colores de la caja, dado que en un ciclo se detectaba un color y en otro ciclo se le detectaba otro color a la misma caja. Para poder dar solución a este inconveniente, se procedió a efectuar más pruebas y definir bien la ubicación del sensor de color, con su respectiva calibración de frecuencias.

Por último, otro problema surgió con la Protoboard, ya que esta no lograba sostener bien los cables debido a su delgado espesor, por lo cual debimos reconectar varias veces estos, causándonos pérdidas de tiempo.

A pesar de estos inconvenientes, todo se logró llevar a cabo según lo planeado en el tiempo correcto para terminar el montaje.

3.2. Mejoras:

Como en todo proyecto de ingeniería, este puede llegar a ser mejorado con una mayor inversión de dinero y de tiempo.

1. Adquirir sensores de color de mayor precisión y lograr que detecte más tipos de colores.
2. Realizar el proyecto a escala grande para así poder aplicarlo a una variedad de productos más amplios.
3. Cambiar el pistón dispensador y expulsor por bandas transportadora para así evitar carreras demasiado largas y posibles golpes en el producto.
4. Soldar los relés a un circuito impreso para que no sea muy frágil la parte eléctrica y esta se pueda “ocultar” sin temor a que se desconecte algún cable.
5. Aplicar inteligencia artificial para detectar marcas y logos y no fondos de color.
6. Se puede optimizar más el tiempo de salida y de procesamiento, de tal forma que se cumplan ciclos continuos y se produzcan más productos finalizados en menos tiempo.
7. La seguridad se DEBE mejorar hasta llegar al nivel de que sea prácticamente imposible un error de parte del operario. Esto se puede lograr con ayuda de mallas de seguridad y sensores de proximidad que paren el sistema en caso de una emergencia.

CONCLUSIONES

Para lograr desarrollar correctamente un proyecto mecatrónico, se debe implementar un análisis previo del sistema en el que se investigan aspectos técnicos y aplicativos del tema a trabajar.

Este análisis sistemático, debe reconocer las experiencias de previos proyectos tanto en la universidad como a nivel general para seguir las diversas recomendaciones según el montaje en mente. De igual manera, es necesario tener un diseño a seguir, ya sea a mano o a computador para tener claro los espacios y limitantes antes de proceder con el montaje. Posteriormente, es fundamental el tener claro el tipo de material que, en nuestro caso, se logró trabajar con un material económico, liviano y eficiente. Sin embargo, dependiendo de las aplicaciones y objetivos del sistema, esta elección puede variar significativamente.

A nivel electrónico se debe buscar una instalación no muy compleja para poder intervenir en ella en caso de que se presente un daño o condición a cambiar. El uso de Leds para identificar de una manera más visual el respectivo pistón según su color, es un aspecto muy importante para así, dar mayor seguridad y facilidad al operario. De igual forma, es muy importante que los cilindros tengan una regulación de su caudal, pues la idea de estos es que trasladen el producto de una manera moderada en la que no corra riesgos de daños, tanto al mismo producto o al sistema; y más aún al tratarse de productos pequeños y livianos, en los que altas velocidades no hacen falta para el desarrollo de la estampación.

Durante el proyecto se pueden presentar muchos inconvenientes, por eso es muy importante una buena comunicación con los compañeros del trabajo y realizar constantemente pruebas para identificar las diversas fallas e ir las corrigiendo a su medida.

A pesar de tener un límite considerable tanto en tiempo como en materiales, se logró desarrollar el proyecto adecuadamente llegando a un funcionamiento eficaz y como objetivo principal, enfocar y fomentar todo nuestro proyecto como un prototipo para lo que es la vida diaria, en donde a través de este mecanismo se busque una utilidad a nivel industrial para mejorar la producción, el tiempo, los costos y la calidad de vida de las diferentes personas que intervienen en este.

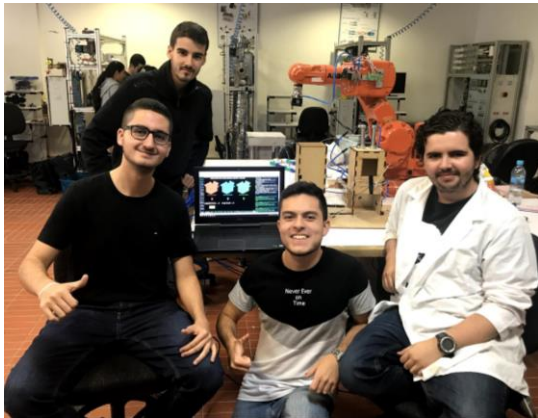


Figura 40. Integrantes del equipo al finalizar montaje.

AGRADECIMIENTOS

Al profe Pedro León Simanca por la dedicación, compromiso y apoyo durante este semestre. Fue un reto y una experiencia llena de aprendizaje. Gracias.

REFERENCIAS

- Arduino. (2019). *Arduino UNO*. From <https://www.arduino.cc/>
- Autodesk. (2000). *Inventor*. From CAD Software: <https://latinoamerica.autodesk.com/products/inventor/overview>
- Banco Mundial. (2017). *Industrialización, valor agregado (% del PIB)*. From <https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.IND.MANF.ZS>
- Barch. (2019). *Cortadoras Láser Industriales*. From <https://www.lazerdelvalle.com/maquinaria-industrial/maquinas-laser/>
- Beltec Herramientas. (2019). *Sierras Sinfin para Maderas*. From <https://belltec.com.co/163-sierras-sinfin-para-madera>
- Chilexpress. (2019, Enero). *Cajas de Cartón Corrugado*. From <https://www.chilexpress.cl/linea-embalajes-bolsas-cajas-sobres>
- Electrónica I + D. (2019). *Sensor de Color GY31*. From <https://www.didacticaselectronicas.com/>
- Famic Technologies inc. (2019, Junio). *Automation Studio Software*. From <https://www.famictech.com/es/automation-studio-edu/index.html>
- Festo didactic. (2019). *Válvulas reguladoras de caudal neumáticas*. From https://www.festo.com/cms/es-co_co/index.htm
- Google. (2016). *Caja Estampadora Industrial*. From • https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_enCO828CO828&biw=1536&bih=731&tbm=isch&sa=1&ei=ICP3XPSrBZCm5wLxxYmoDg&q=caja+estampadora+industrial&oq=caja+estampadora+industrial&gs_l=img.3...9827.11116.11342...0.0..0.208.2037.0j10j1.....0....1..gws-wiz-img....
- Homecenter. (2019). *Mototool Home Center*. From https://www.google.com/search?q=motor+tool&safe=off&source=lnms&sa=X&ved=0ahUKEwi_7o6F8dPiAhVJuVvKkHTcoA7gQ_AUICygA&biw=1536&bih=682&dpr=2.5
- How to Mechatronics. (2018). *Ultrasonic Sensor HC-SR04 and Arduino Tutorial*. From <https://howtomechatronics.com/tutorial/s/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04/>
- Maker Robotics. (2019). *Color Sensor gy31-6*. From <https://www.hackster.io/MakerRobotics/color-sensor-gy-31-6b5f75>
- NCR Industrial. (2019). *Relés Comerciales NCR*. From <http://www.nicerelay.com/es/>
- NEJE Industrial Machines. (2019). *DH gate, máquina estampadora neumática NE 819C*. From <https://es.dhgate.com/product/zy-819c-pneumatic-stamping-machine-leather/424085645.html>
- Python Tkinter Resources. (2019). *Python Interface*. From <https://docs.python.org/2/library/tkinter.html>
- Python TM. (2019). *Python Language*. From <https://www.python.org/>
- Xataka Robotics. (2018, Sep 17). *La automatización eliminará 75 millones de empleos para 2025, pero creará 133 millones de nuevas funciones, según WEF*. From <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/automatizacion-eliminara-75-millones-empleos-para-2025-creara-133-millones-nuevas-funciones-wef>
- Yamata Hydraulics. (2017). *Sublimadora Hidráulica Yamata 40 x 60 Doble Bandeja*. From https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-452261704-sublimadora-40x60-doble-bandeja-hidraulica-_JM