



**Máquina de doblaje de etiqueta: Diseño de máquina semiautomática para el doblaje,
pegado y plastiflechado de etiqueta-caballote de cartón.**

Mauricio Ríos Hernández

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Tutores

Carlos Andrés Trujillo Suarez, PhD en Ingeniería Mecánica

Edison García Atehortúa, Ingeniero de proyectos Senior.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Referencia

- [1] Mauricio Ríos Hernández, "Título: Máquina de doblaje de etiqueta: Diseño de máquina semiautomática para el doblaje, pegado y plastiflechado de etiqueta-caballote de cartón.", Trabajo de grado profesional, Ingeniería Mecánica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.

Estilo IEEE (2020)



Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Agradezco el apoyo que me han brindado en mi trayectoria académica a mis familiares, mamá, papá, hermanos, tíos, tías, primos, primas y a mis abuelos. Sus constantes muestras de apoyo, su confianza inquebrantable y su sacrificio han sido la fuerza motriz que me ha llevado hasta este punto. A cada ser querido les debo un enorme reconocimiento. Cada uno ha jugado un papel fundamental en este camino, ya sea con su orientación, con su apoyo emocional, con su respaldo financiero o simplemente con su presencia constante. Su presencia ha sido mi motivación en los momentos de duda. Su dedicación y sacrificio han sido la inspiración que me ha impulsado a superar obstáculos y a seguir adelante, incluso cuando las dificultades se presentaban.

Este trabajo de grado es también de ustedes. Gracias por ser mi familia, por creer en mí y por estar a mi lado en cada paso del camino.

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad de Antioquia y a la Universidad Nacional por brindarme una formación académica sólida y de calidad. Ambas instituciones fueron fundamentales en mi desarrollo profesional y personal, proporcionándome el conocimiento necesario para enfrentar los desafíos del mundo real y para crecer como individuo. A la Universidad de Antioquia, agradezco por su excelencia académica y por proporcionarme las herramientas necesarias para comprender los principios fundamentales de la ingeniería mecánica.

Los profesores y el personal administrativo de esta institución contribuyeron de manera significativa en mi formación, guiándome con su experiencia y conocimiento. A la Universidad Nacional, mi gratitud por abrirme las puertas a un mundo de posibilidades y por brindarme una visión más amplia y profunda de la Ingeniería y de la física. Los programas académicos, los recursos y las oportunidades de investigación de estas universidades jugaron un papel crucial en mi crecimiento profesional y en la adquisición de habilidades críticas para mi desarrollo como ingeniero.

Ambas universidades han dejado una huella imborrable en mi vida, no solo por el conocimiento impartido, sino también por el ambiente de aprendizaje enriquecedor y el sentido de comunidad que promovieron. Estoy profundamente agradecido por todo lo que he aprendido y experimentado durante mi proceso formativo en estas instituciones. Estos conocimientos y fortalezas adquiridas me han permitido desarrollar este trabajo de grado de manera apta, aplicando los principios y metodologías aprendidos en mis estudios.

A la Universidad de Antioquia y a la Universidad Nacional, mi más sincero reconocimiento por su contribución a mi formación como ingeniero mecánico y por ayudarme a convertirme en la persona que soy hoy.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
I. INTRODUCCIÓN	13
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
IV. OBJETIVOS	16
A. Objetivo general	16
B. Objetivos específicos	16
V. MARCO TEÓRICO	17
A. Diseño de ingeniería.	17
B. Metodologías de diseño.	17
C. Máquinas de doblaje de etiquetas (de cartón) o similares.	19
D. Etiqueta.	21
E. Plastiflecha.	21
F. Plastiflechado.	21
G. Máquina de plastiflechado (Tagging modules).	21
H. Pegamentos para cartón.	22
I. Dosificación y máquina dosificadora.	25
J. Secado del pegamento.	26
K. Sistemas de secado para pegamento.	27
L. Sistemas de calentamiento para los adhesivos hot melt.	28
M. Automatización.	29
N. Unidad de mantenimiento neumática (FRL).	30
VI. METODOLOGÍA	32
VII. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	35

A. Identificación de oportunidades.	35
B. Establecimiento de objetivos.	38
C. Función del dispositivo (División en subfunciones).	40
D. Generación de alternativas.	43
E. Evaluación de alternativas.	50
VII. RESULTADOS	51
A. Diseño general.	51
B. Estructura, perfilería y uniones	69
C. Sistema de doblaje.	77
D. Magazine y sistema de alimentación.	82
E. Subsistema de desplazamiento (header).	84
F. Módulo de secado.	87
G. Análisis estructural del sistema de la máquina.	89
H. Elementos de control y neumática de la máquina	107
1. Sección del magazín	111
2. Sección de desplazamiento o header.	113
3. Sección de secado.	113
4. Sección de plastiflechado.	114
5. Sección de dosificación y pegamento.	114
I. Costo de implementación de la máquina	118
J. Secuencia neumática.	119
K. Código Ladder para control de la máquina.	138
VIII. DISCUSIÓN	151
IX. CONCLUSIONES	153
REFERENCIAS	155

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma de actividades.	32
Tabla 2. Benchmark de máquinas de doblaje de cartón.	37
Tabla 3. Especificaciones que debe cumplir el diseño.	40
Tabla 4. Diagrama morfológico del análisis de alternativa.	50
Tabla 5. Evaluación de alternativas del diseño.	50
Tabla 6. Elementos mecánicos estructura de la máquina.	75
Tabla 7. Costo de elementos mecánicos para la estructura de la máquina.	76
Tabla 8. Elementos mecánicos módulo de doblado.	79
Tabla 9. Costo de fabricación del módulo de doblado.	81
Tabla 10. Elementos mecánicos módulo de magazín o alimentación.	83
Tabla 11. Costo módulo de magazín o alimentación.	83
Tabla 12. Elementos mecánicos módulo de desplazamiento.	86
Tabla 13. Costos módulo de desplazamiento.	87
Tabla 14. Elementos mecánicos módulo de secado.	88
Tabla 15. Costo elementos mecánicos módulo de secado.	89
Tabla 16. Peso aproximado sobre la corredera FUYU.	94
Tabla 17. Peso de algunos módulos y su centroide respecto al sistema de coordenadas de la máquina.	97
Tabla 18. Elementos neumáticos de la máquina (Diferentes a pistones).	115
Tabla 19. Elementos eléctricos de la máquina.	115
Tabla 20. Elementos de entradas y actuadores eléctricos.	117
Tabla 21. Costo de implementación del diseño.	118
Tabla 22. Entradas del PLC.	119
Tabla 23. Salidas del PLC.	120
Tabla 24. Estado de las salidas de la secuencia principal de la máquina.	134
Tabla 25. Transiciones de la máquina.	136

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. a) Etiqueta del problema sin doblar. b) Etiqueta del problema doblada.	14
Fig. 2. Etiqueta doblada e implementada en paquetes de calcetines.	15
Fig. 3. Estados en etiqueta-caballete.	15
Fig. 4. Plastiflecha y plastiflechadoras.	22
Fig. 5. FRL implementada en tablero eléctrico.	31
Fig. 6. Árbol de objetivos del diseño.	39
Fig. 7. Caja negra de la máquina a diseñar.	41
Fig. 8. Caja transparente del diseño.	42
Fig. 9. Árbol de conceptos del módulo de dosificación y pegado.	43
Fig. 10. Árbol de conceptos para el subproceso de doblado.	45
Fig. 11. Árbol de conceptos del módulo de secado.	46
Fig. 12. Árbol de conceptos del módulo de transporte.	47
Fig. 13. Árbol de conceptos para la entrada de energía.	48
Fig. 14. Árbol de conceptos para el magazín.	49
Fig. 15. Árbol de concepto señales de control.	49
Fig. 16. Diseño etapa 1.	53
Fig. 17. Diseño etapa 2.	54
Fig. 18. Diseño etapa 3.	55
Fig. 19. Diseño etapa 4.	56
Fig. 20. Diseño etapa 5.	58
Fig. 21. Módulo de plastiflechado para la etiqueta-caballete.	58
Fig. 22. Diseño etapa 6.	59
Fig. 23. Diseño etapa 7.	61
Fig. 24. Diseño etapa 8.	62
Fig. 25. Diseño etapa 9.	63
Fig. 26. Diseño etapa 10.	64
Fig. 27. Sistema Hot Melt Invisipac HM25c.	66
Fig. 28. Diseño etapa 11.	67
Fig. 29. Diseño etapa 12.	67

Fig. 30. Error en el diseño de la etapa 12.	68
Fig. 31. Solución a error de solapamiento entre etiqueta y perfil.	69
Fig. 32. Perfil ranurado 4040 de aluminio.	70
Fig. 33. Perfil T-slot 4040 de aluminio de la McMasterCARR.	70
Fig. 34. Sección transversal del perfil T slot 4040 macizo seleccionado.	71
Fig. 35. Sistema de unión para perfil ranurado de aluminio 4040 sin ensamblar.	72
Fig. 36. Sistema de unión para perfil ranurado de aluminio 4040 ensamblado.	72
Fig. 37. Agujero para ensamble de sistema de unión entre perfiles 4040 o 4080.	73
Fig. 38. Tuerca de sujeción para perfil en T 4040.	73
Fig. 39. Estructura de la máquina diseñada.	75
Fig. 40. Articulación de acero para sistema de doblado.	78
Fig. 41. Render del subsistema doblado.	79
Fig. 42. CAD del subsistema doblado.	79
Fig. 43. Módulo de alimentación de etiquetas del diseño.	82
Fig. 44. Módulo de desplazamiento de etiquetas del diseño.	85
Fig. 45. a) Posición 1 del sistema de desplazamiento, b) Posición 2 del sistema de desplazamiento.	86
Fig. 46. Sistema de secado del diseño.	88
Fig. 47. Gráfico de Ashby del 6560.	91
Fig. 48. Propiedades mecánicas de la aleación 6560 de aluminio.	92
Fig. 49. Propiedades mecánicas del material aleación de aluminio en Ansys.	93
Fig. 50. Propiedades y materiales del pistón del sistema de desplazamiento.	94
Fig. 51. Figura: Diagrama de fuerzas simplificado.	95
Fig. 52. Máquina de doblaje de etiquetas y su origen en el diseño CAD.	97
Fig. 53. Perfil 4040 ingresado en Ansys.	98
Fig. 54. Perfil 4080 ingresado en Ansys.	99
Fig. 55. Frame a partir de puntos creado en Desing Modeler.	100
Fig. 56. Mallado del frame usando elementos lineales.	100
Fig. 57. Fuerzas remotas y su posición respecto al sistema de coordenadas de la máquina.	101
Fig. 58. Figura: Desplazamientos en el frame de la máquina.	102
Fig. 59. Esfuerzos de flexión en el frame de la máquina.	103

Fig. 60. Esfuerzos de flexión en el frame de la máquina.	104
Fig. 61. Frame mallado con elementos tetraédricos.	105
Fig. 62. Cargas sobre el frame de la máquina.	106
Fig. 63. Cargas sobre el frame de la máquina.	106
Fig. 64. Cargas sobre el frame de la máquina.	107
Fig. 65. Propiedades de manguera neumática de 4,6 y 8 mm.	108
Fig. 66. FRL CAD.	109
Fig. 67. a) Módulo de válvulas SY3160-5LOU-C4. b) CAD válvula SY3160-5LOU-C4 .	110
Fig. 68. Driver para motor de la corredera FUYU.	113
Fig. 69. Denominación de los pistones de la máquina.	119
Fig. 70. Estado M1 de la secuencia.	123
Fig. 71. Estado M2 de la secuencia.	124
Fig. 72. Estado M3 de la secuencia.	125
Fig. 73. Estado M4 de la secuencia.	125
Fig. 74. Estado M5 de la secuencia.	126
Fig. 75. Estado M6 y M7 de la secuencia.	127
Fig. 76. Estado M20 de la secuencia.	128
Fig. 77. Estado M21 de la secuencia.	128
Fig. 78. Estado M22 y M23 de la secuencia.	129
Fig. 79. Estado M24 de la secuencia principal.	130
Fig. 80. Estado M25 de la secuencia principal.	131
Fig. 81. Estado M26 de la secuencia principal.	132
Fig. 82. Estado M27 de la secuencia principal.	132
Fig. 83. Estado M30 de la secuencia principal.	133
Fig. 84. Red de Petri de la secuencia principal.	136

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

FRL	Filter, Regulator, and Lubricator
HMA	Hot Melt Adhesive
COP	Pesos colombianos
EVA	Ethylene Vinyl Acetate
FEA	Finite Element Analysis
CAD	Computer Aided Desing
PVA	Poly Vinyl Acetate
APAO	Amorphous Poly Alpha olefin
PUR	Polyurethane Reactive Adhesives
USD	Dolar americano

RESUMEN

En las industrias colombianas aún hoy se requiere para ciertos procesos que los operarios realicen tareas repetitivas y a veces de poca ergonomía. Lo anterior permite identificar oportunidades para desarrollar tecnología y automatización buscando siempre una mayor eficiencia en los procesos y que las personas contratadas por las empresas se dediquen a labores menos exigentes físicamente. Una de estas oportunidades se identificó en la empresa donde el estudiante realiza el proceso de práctica, específicamente en los procesos de acabos de calcetines, particularmente para determinada presentación de calcetines, los operarios deben realizar el doblaje de etiquetas que sirven de caballete para empaacar estas. La idea central es diseñar la automatización de todo el proceso de doblaje por medio de una máquina, es decir, además del doblaje de la etiqueta, la máquina también debe tener un magazín de etiquetas, debe tomar la etiqueta de este magazín, aplicar el pegamento en la etiqueta para que el caballete no se desarme una vez doblada la etiqueta, retirar la etiqueta y dejarla lista para el proceso de empaque y plastiflechado de los calcetines. Para la anterior se iniciará con una metodología de diseño que permita analizar alternativas evaluando las dimensiones principales del proyecto para discernir la opción más viable. Posteriormente, mediante reuniones periódicas con los asesores, se guiará al practicante para lograr un diseño de alta calidad.

***Palabras clave* — Automatización, diseño mecánico, máquina de doblaje de etiquetas, etiquetas para calcetines, plastiflecha, plastiflechado, neumática.**

ABSTRACT

In Colombian industries, there is still a need for certain processes where operators perform repetitive tasks, sometimes with poor ergonomics. This highlights opportunities to develop technology and automation, always aiming for greater process efficiency and allowing employees to focus on less physically demanding tasks. One such opportunity was identified in the company where the student works, specifically, in the finishing process of socks. Particularly for a specific presentation of socks, operators must fold tags to serve as hangers for packing. The central idea is to design the automation of the entire folding process through a machine. This means, in addition to folding the tag, the machine must also have a magazine of tags, take the label from this magazine, apply glue to the tag so that the hanger does not come apart once the tag is folded, remove the label, and leave it ready for the packaging and gun tagging process of the socks. To achieve this, a design methodology will be initiated to analyze alternatives, evaluating the main dimensions of the project to discern the most viable option. Subsequently, through regular meetings with advisors, the intern will be guided to achieve a high-quality design.

***Keywords* — Automation, mechanical design, tag folding machine, sock labels, plastic arrow tag, plastic arrow gun tagging, pneumatic**

I. INTRODUCCIÓN

En las industrias textiles y en general, se realizan muchos procesos que requieren la intervención de operarios. Sin embargo, estas operaciones conllevan dos desventajas principales: en primer lugar, la velocidad del proceso, y, por ende, su costo, está directamente ligada a la eficiencia y velocidad del operario. En segundo lugar, la dependencia del proceso de la disponibilidad de operarios. Lo anterior crea una vulnerabilidad para las empresas. Si un trabajador decide abandonar la empresa, esta se enfrenta a la necesidad de invertir tiempo y recursos en la búsqueda y capacitación de un nuevo operario, especialmente porque muchas de estas tareas son altamente específicas dentro del proceso. Un 90% de los jóvenes de la generación Y no permanecería más de cinco años en el puesto de trabajo y que a un 37% no le gustaría trabajar más de dos años en la misma empresa [1], esta tendencia se agudiza para la generación z [2]. En la empresa de donde se desarrolla este trabajo, al ser una empresa manufacturera, se tiene muchos procesos distintos que complican la automatización completamente de sus plantas de producción, por lo que se requiere tener operarios para las diversas tareas, por lo que desde hace varias décadas y actualmente está invirtiendo en dar el salto a la automatización en la mayoría de sus procesos, buscando el confort para sus operarios en trabajos menos desgastantes, de menos repetición y más ergonomía.

Particularmente en los procesos de acabados de calcetines, una empresa cliente de la compañía, vende su presentación de calcetines en una especie de caballete (es una especie de plegable en cartón, que a la vez se puede imprimir en él y sirve de etiqueta), este caballete requiere ser doblado por operarios para luego encajar en este los calcetines y hacer el proceso de plastiflechado. El proceso de doblado de la etiqueta y su fijación (con algún tipo de adhesivo o pegante), se pretende automatizar pues se requiere mejorar la eficiencia del proceso. Aquí el practicante puede desarrollar su trabajo de grado y complementar su formación en un problema real. La idea es que el practicante diseñe una máquina viable para hacer el doblaje de la etiqueta, el proceso de fijación de la etiqueta y su transporte debe tener un tipo de almacenamiento de etiquetas para suministrar etiquetas a la zona de doblado constantemente sin intervención humana.

Para llevar a cabo lo anterior se debe realizar diseño asistido por computador usando el software CAD Fusion 360 (pues la empresa trabaja con este), un análisis de alternativas para determinar la mejor solución, análisis de costos de fabricación y consumo de la máquina, una animación de calidad donde sea explícito el funcionamiento de la máquina que permita vender la idea del proyecto para un posterior prototipado de la máquina. Para garantizar un diseño de calidad y lograr objetivos, el practicante se reunirá al menos dos horas con sus asesores, para seguir el proyecto, además de implementar una bitácora con metas semanales y mensuales, donde cualitativamente se mida el avance de las metas y del diseño en general.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de la empresa existe algunos procesos que aún se realizan manualmente debido a su complejidad y la inexistencia de unas máquinas que resuelvan el problema, o varias máquinas dónde se logre automatizar los procesos, uno de estos procesos consiste en el doblaje de una etiqueta-caballote sobre el cual se reposan los calcetines para su posterior plastiflechado. Esta etiqueta se enseña en la Fig. 1.

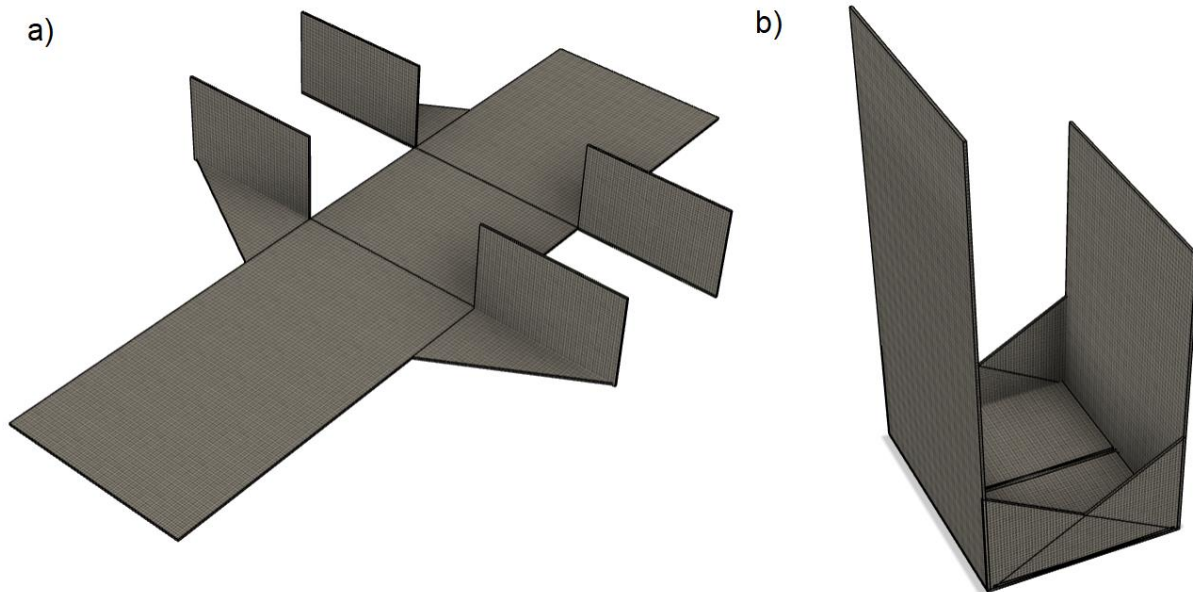


Fig. 1. a) Etiqueta del problema sin doblar. b) Etiqueta del problema doblada.

En la Fig. 2 se enseña una foto real de cómo se posicionan los calcetines dentro de este

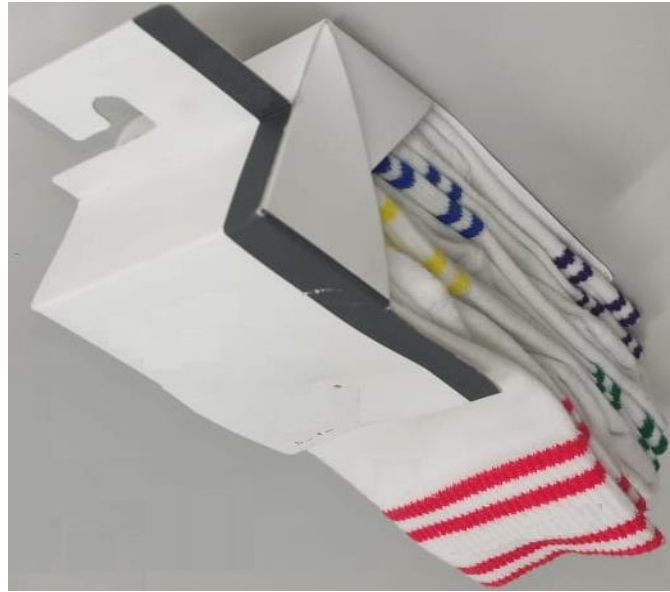


Fig. 2. Etiqueta doblada e implementada en paquetes de calcetines.

En este caballete se requiere que empacar entre 5 y 3 pares de calcetines, las dimensiones de la etiqueta para ambos casos no cambian significativamente.

El doblado de etiqueta consta de 4 pasos, en la Fig. 3 se enseñan los estados en que queda la etiqueta luego de realizar cada uno de los pasos, es decir que por ejemplo se requiere que el paso 1 doble la etiqueta de tal forma que quede en el estado 1.

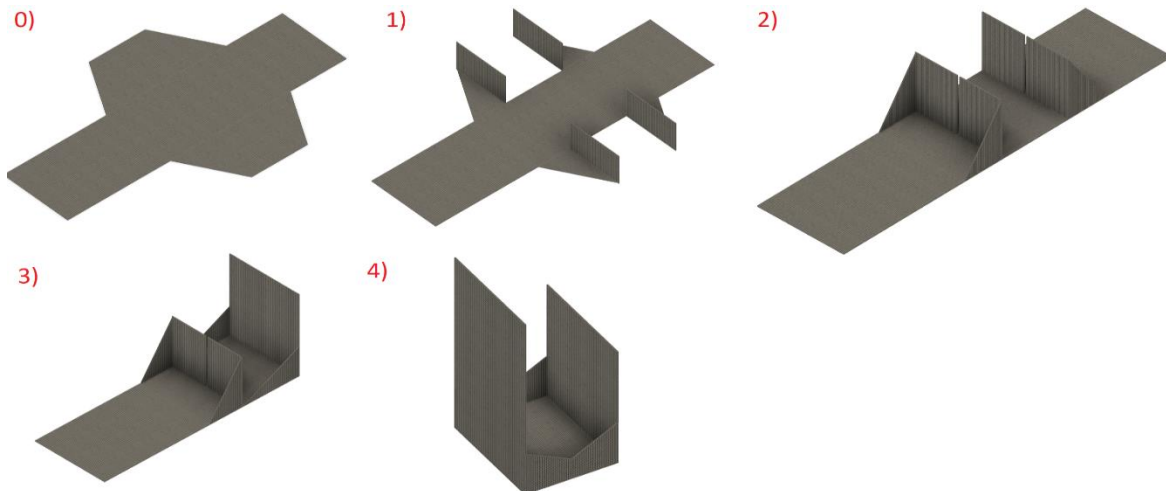


Fig. 3. Estados en etiqueta-caballete.

Es importante mencionar que la etiqueta es de cartón y que requiere un adhesivo que la empresa que requiere el servicio implementa en la etiqueta y, al realizar el paso 3, este sistema de unión quizá deba reemplazarse y considerarse en el diseño.

Adicionalmente del doblado de etiqueta se requiere entonces un sistema de pegado y secado de la etiqueta (en caso de que se decida a usar pegamento líquido, en frío o Hot Melt). Además de un sistema para desplazar las etiquetas o sacarlas del proceso. También se debe considerar que el sistema debe tomar estas etiquetas de una especie de magazín para doblarlas. Además, el sistema debe tener también la capacidad de realizar el plastiflechado de los calcetines luego de que la etiqueta-caballete esté bien unida, en este punto se plantea la necesidad de una operaria o para que disponga de los calcetines en la posición de plastiflechado. Por lo anterior esta máquina realmente lo que se busca es que realice todos los procesos de acabado de calcetines.

IV. OBJETIVOS

A. *Objetivo general*

Diseñar máquina semiautomática de doblaje de etiqueta-caballete para calcetines y todos los procesos de acabados involucrados para la referencia de calcetines que requiere de las etiquetas.

B. *Objetivos específicos*

- Implementar una metodología de diseño para realizar una máquina dobladora de etiquetas y analizar alternativas para esta.
- Apoyar el diseño detallado de la máquina dobladora de etiquetas con el software Fusion 360 buscando que sea funcional, eficiente y viable.
- Diseñar las piezas en función de los procesos de fabricación, las máquinas herramientas de la empresa, los elementos existentes dentro de la empresa y piezas comerciales existentes en el mercado locales, buscando siempre la sencillez en las piezas.

-
- Analizar los costos de fabricación de la máquina.
 - Describir el diseño neumático de la máquina, en caso de que se requiera
 - Establecer el microcontrolador a usar en la máquina y/o PLC, así como plantear la programación de este.
 - Realizar una animación de la máquina donde se pueda observar con detalle el funcionamiento de la máquina dobladora de etiquetas.
 - Probar la resistencia mecánica usando elementos finitos de las partes más críticas de la máquina para asegurar la estabilidad de la maquina y que no falle por resistencia mecánica.

V. MARCO TEÓRICO

A. *Diseño de ingeniería.*

El diseño de ingeniería es el diseño de productos tecnológicos (artefactos, procesos, sistemas e infraestructura) está en el centro de la naturaleza de la ingeniería. El diseño en ingeniería es un proceso sistemático, creativo y flexible, sustentado en matemáticas, ciencias naturales y ciencias de la ingeniería, que incluye la generación, la evaluación sistemática y la puesta a prueba de especificaciones para crear artefactos, sistemas, procesos e infraestructura cuya forma y función permitan lograr objetivos establecidos y satisfacer restricciones especificadas por una necesidad problemática [3].

B. *Metodologías de diseño.*

La metodología de diseño en ingeniería se refiere al proceso sistemático y organizado utilizado para desarrollar soluciones a problemas o crear nuevos productos, sistemas o procesos. Esta metodología guía a los ingenieros a través de diversas etapas, desde la comprensión del problema hasta la implementación de la solución. Los pasos para concebir un diseño son los siguientes [4]:

1. Planteamiento del problema de diseño: En este paso se identifica la oportunidad para desarrollar alternativas, sea por motivación personal, por identificación de falla, por

estudio a clientes o mejorar un modelo existente. En este paso es importante revisar fuentes como patentes y comparaciones de los dispositivos comerciales (Benchmarking).

2. Establecer los objetivos, limitaciones, y especificaciones. En este punto es importante construir un árbol de objetivos, donde se establezca claramente la meta, objetivos y subobjetivos. Se debe plantear las limitaciones derivadas a los requerimientos del cliente o las condiciones de fabricación. Se debe especificar las características deseadas o demandadas del sistema, prototipo, dispositivo y/o producto.
3. Función del dispositivo (División en subfunciones). Es importante identificar las subfunciones que dan lugar a un funcionamiento correcto:
 - Funciones de soporte o estructura base.
 - Funciones de suministro de energía.
 - Funciones de conversión de energía.
 - Funciones de transmisión de movimiento.
 - Funciones específicas adicionales.

Para identificar qué va a lograr el dispositivo, sistema prototipo o producto se construye un diagrama de caja negra y para identificar cómo va a lograr dicha función se construye el diagrama de caja transparente

4. Generar alternativas: En este paso se plantean alternativas de sistemas que cumplen la subfunción. Para llevar este punto a cabo es recomendable realizar árboles de conceptos. Luego usando la metodología de diagrama morfológico se organiza las funciones con las alternativas físicas correspondientes.
5. Evaluar alternativas: En esta etapa se recomienda implementar un arboles de objetivos ponderados, para asignar un peso a cada objetivo. Luego se plantea la tabla de evaluación de alternativas por objetivos ponderados, donde se asigna a cada alternativa una calificación según el grado de cumplimiento de los objetivos específicos.

En este trabajo se desarrollarán todos estos pasos para concebir el diseño. En el diseño de la máquina de doblaje de etiqueta es importante tener claro ciertos conceptos que se manejan en la industria textil y en este caso en particular para contextualizarse con facilidad en la lectura del documento escrito del trabajo de grado, algunos de los conceptos y/o términos principales se presentarán a continuación.

C. Máquinas de doblaje de etiquetas (de cartón) o similares.

- Automatic Lid and base box folding machine [5]: Máquina automática neumática diseñada para realizar el doblaje de cajas de cartón para realizar el empaque de zapatos u otros productos. Los actuadores son neumáticos, se tiene succión para desplazar las cajas. Se utilizan un actuador vertical que se encarga de que la parte central de la caja mantenga su forma mientras los actuadores laterales realizan el doblez. La máquina puede generar dos cajas dobladas en paralelo. Analizando sólo un “carril” de la máquina, se tiene dos actuadores que están dispuestos verticalmente y que se puede desplazar, el primero se encarga de tomar el cartón del magazín y situarlo en la posición preestablecida para realizar el doblez, mientras que el otro actuador ayuda en el doblez y también desplaza la caja hecha hacia una rampa que hace que la caja baje a su lugar de recolección. Puntos clave identificados en esta máquina: Se debe usar un tipo de brazo de un eje para realizar los desplazamientos horizontales, Se utilizan perfiles y diferentes formas geométricas en dados para lograr la forma del doblez. Los actuadores usados para desplazar horizontalmente las cajas usan succión. El actuador vertical que ayuda en el doblez y tiene otros actuadores en un armazón, la máquina tiene actuadores móviles.
- T shirt Folding and packaging Machine [6]: Máquina usada para realizar el doblez de camisa de manera automática. Esta máquina destaca por ser sencilla, consta de unas láminas de bajo peso, las cuales por medio de pistones neumáticos predispuestos en determinados ángulos y ayudándose con articulaciones se logra obtener, por medio de las bisagras un movimiento rotativo de las láminas, si la camiseta está situada de manera correcta en la máquina el doblez es efectuado efectivamente.

-
- Corrugated carton box auto folder gluer machine [7]: Máquina de alta velocidad que hace el doblaje de cajas de cartón corrugado, esta máquina funciona por medio de un conjunto de bandas y utilizan el movimiento de estas para desplazar el cartón y por medio de tuberías, bandas y otras piezas realizan el doblaje a medida que estas se desplazan, luego las cajas se apilan y usando un actuador neumático son desplazadas, la máquina hace el proceso en línea sin prácticamente ninguna pausa, esto es posible debido a su excelente diseño y a que no deben realizarse demasiados doblajes en la caja ni en direcciones perpendiculares.
 - Box forming/closing machines and cartoning machine [8]: máquina que realiza el doblaje de cajas de cartón. El primer paso es tomar y posicionar por medio de un actuador neumático rotativo y ventosas el cartón en posición para comenzar a realizar el proceso de doblado, posteriormente, este mismo actuador desplaza el cartón donde se hace el primer doblaje y el que le da forma a la caja, por medio de una especie de mesa, la cual tiene un agujero en la zona central con la forma de la base de la caja (rectangular) de tal forma que cuando el cartón está posicionado sobre la mesa se acciona neumáticamente una especie de dado de sección transversa rectangular el cual se desplaza justo en el agujero de la mesa, esta acción dobla con suficiencia la caja, de tal forma que esta en este punto ya tiene forma de paralelepípedo, el dado además tiene actuadores neumáticos dentro de sí, de tal forma que luego de moverse el dado estos puedan accionarse, estos actuadores permiten posicionar en una banda transportadora la caja para completar el doblado de la zona superior de la caja, posteriormente con pistones se realiza un proceso de separación de las cajas, esto para dejar un espacio entre estas para continuar con el resto del proceso de manera correcta. Posteriormente se realiza el doblaje de dos de las tres aletas superiores de la caja usando una geometría específica y un movimiento circular sincronizado para hacer los dos doblajes de una caja por giro. La última pestaña se dobla por medio de una geometría compuesta por tubos lisos que se interpone con el desplazamiento de las cajas debido a la banda transportadora. Para sacar la caja la banda se pone un tope para que estas no caigan al suelo y por medio de un actuador neumático estas se sacan del proceso.

D. Etiqueta.

Plegable de cartón con la información principal sobre el producto (par de calcetines o pares de calcetines) y la marca correspondiente. La etiqueta al doblarse forma una especie de caballete en el cual se fija por plastiflechado los calcetines

E. Plastiflecha.

Pieza pequeña hecha de plástico con forma de flecha que sirven para la fijación de etiquetas colgantes entre sí, o a las prendas, o también para unir prendas. Una de estas plastiflechas se enseña en la Fig. 4 a).

F. Plastiflechado.

Proceso que consiste en posicionar la plastiflecha entre la o las prendas de modo que cumplan su función. Por ejemplo, los calcetines de la Fig. 2 están sujetos al caballete (etiqueta) por plastiflechado.

G. Máquina de plastiflechado (Tagging modules).

Esta máquina es una especie de pistola, tiene un aguja hueca, la cual debe perforar y traspasar las prendas o etiquetas que se requiere, luego con un sistema mecánico (que puede ser impulsado neumáticamente o manualmente) se acciona un pin-filo (pequeño eje de algún material metálico) el cual está alineado con el eje de la aguja pero por debajo de esta, cuando el pinfilo se acciona arrastra dentro de la aguja la plastiflecha desde su disposición inicial hasta un extremo abierto de la aguja (un agujero en la pared lateral de las agujas para permitir que la plastiflecha sea expulsada por este a uno pocos milímetros del extremo de la aguja) . La plastiflecha sigue la misma trayectoria de la aguja para traspasar también el material. Las máquinas más comunes para este tipo de tareas son manuales y de bajo costo (desde 2 USD hasta 100 USD aproximadamente), pero también existen accionadas neumáticamente (Tagging modules), Fig. 4 c y d se enseñan algunas plastiflechadoras. La plastiflechadora de la Fig. 4 fue modelada en Fusion, es ampliamente usada

dentro de la empresa, de origen italiana y actualmente tiene un costo aproximado de 4000000 COP, mientras que la plastiflechadora de la figura Fig. 4, también es usada ampliamente en la empresa, pero es de origen china con un costo de 1500000 COP. El costo aparentemente elevado de estas máquinas se debe a que tienen mecanismos y engranajes de dimensiones pequeñas (piñones de diámetro externos de 15mm aproximadamente) los cuales necesitan mecanizado no convencional para ser realizados.

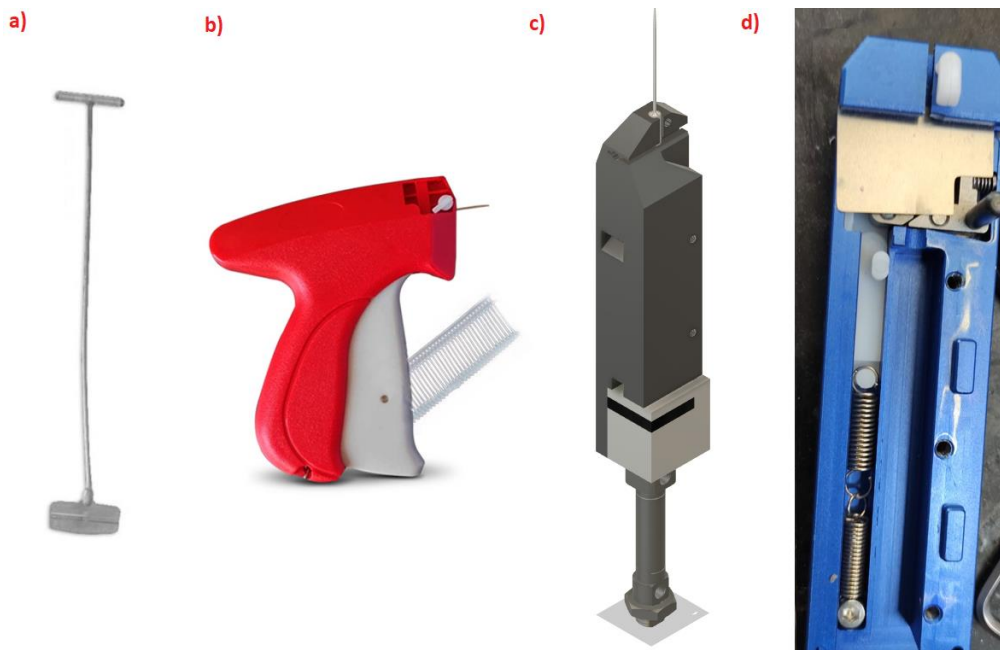


Fig. 4. Plastiflecha y plastiflechadoras.

Nota. Fuente a) y b) <https://emarint.com.mx/product/plastiflecha-estandar-em-mps/>.

H. Pegamentos para cartón.

El pegamento usado para unir dos sustratos de cartón depende de factores como: El tipo de proceso, si es manual o si será aplicado por determinada máquina (automatizada o no), el tiempo de secado, el tipo de cartón, la adherencia y resistencia, los procesos que tenga el sustrato (por ejemplo, antihumedad o si el cartón es satinado, esto debido a que se requiere que el pegamento penetre el sustrato), entre otros factores.

Los pegamentos para cartón se clasifican en dos tipos: pegamentos líquido y adhesivos (cintas con pegante). Actualmente se usa un adhesivo o cinta con pegante en ambas caras para unir la etiqueta-caballete del problema de diseño que aquí se plantea. A su vez los pegamentos líquidos se clasifican en pegamento en frío y pegamento en caliente. Un concepto importante a la hora de hablar de los pegamentos líquidos es hablar del tiempo de secado y el tiempo de curado. El tiempo de secado es el tiempo que se demora el pegamento en solidificarse, mientras que el tiempo de curado es el tiempo que tarda el pegamento en alcanzar su máxima resistencia.

Pegamento en frío: El pegamento en frío es comúnmente un adhesivo blanco elaborado principalmente a partir de acetato de polivinilo (PVA), un polímero sintético también conocido como cola o colbón en el mercado local. Se produce mediante la polimerización del acetato de vinilo. Comercialmente, se encuentra en forma de emulsión y se utiliza como adhesivo para materiales porosos. Es parte de la familia de ésteres de vinilo más accesibles. Además, no es inflamable, corrosivo ni tóxico [10].

Pegamento en caliente (Hot Melt Adhesive HMA): Son adhesivos de plástico, generalmente en forma de pellets o algunos también en forma líquida, a determinada temperatura estos se funden o se llevan a un estado óptimo para ser aplicado sobre los sustratos. Estos tipos de adhesivos no cambian sus propiedades químicas significativamente con la temperatura. Entre otros este tipo de pegamentos usan polímeros como acetato de etileno-vinilo (EVA), Polialfa-olefina amorfa (APAO), poliuretano, este tipo de pegamentos pueden unir sustratos de mismo material o diferentes materiales. Los beneficios de este tipo de pegamentos son [11]:

- Rápida velocidad de secado, lo que los hace atractivos para procesos automatizados de alta velocidad
- Sin contaminación por solventes, no hay reacciones químicas en las cuales haya reactivos contaminantes
- Fácil de empacar, transportar y almacenar
- Buena resistencia y flexibilidad

El tiempo de secado del adhesivo hot melt en cartón puede variar dependiendo de varios factores, como el tipo de adhesivo utilizado, la temperatura de aplicación, la cantidad de adhesivo aplicado y las condiciones ambientales. En general, los adhesivos hot melt tienen un tiempo de curado muy rápido, típicamente de unos pocos segundos hasta menos de un minuto.

Para aplicar este los pegamentos hot melt se puede utilizar pistolas dosificadoras manuales o automáticas, a continuación, se describen brevemente éstas dos posibilidades

Pistolas de pegamento hot melt: Adecuadas para aplicaciones manuales y de bajo volumen. No recomendadas para un sistema automatizado debido a la necesidad de intervención humana. Sistemas de aplicación automática: Incluyen cabezales de aplicación, mangueras calentadas y unidades de fusión. Estos sistemas son ideales para aplicaciones automatizadas y pueden integrarse fácilmente en la máquina diseñada.

Los tipos de hot melt adhesives más comunes se describen a continuación:

El EVA se caracteriza por ser flexible a la vez que tiene buena adhesión, es recomendado para aplicaciones de empaque, el tiempo de secado es corto (entre 5-15 segundos), lo que lo hace óptimo para aplicaciones que requieren una alta velocidad de producción. Tiene capacidad de adherirse una variedad de materiales porosos y no porosos [12].

Las propiedades de pegado dependen directamente de la naturaleza química del material del pegamento, el etileno generalmente se adhiere bien a sustratos no polares tales como plásticos que incluyen polietileno, mientras que el acetato de vinilo por otro lado se adhiere a materiales polares como el papel lo que convierte este pegamento en uno muy versátil. El rango óptimo de temperatura de aplicación de este pegamento está entre 160-180°C [13].

La poliamida: Este pegamento resalta por tener buena resistencia aún en altas temperaturas, por tener buena adhesión en superficies difíciles, y resistencia química, por lo anterior se utilizan comúnmente en la industria automotriz, de filtración y ensamblaje electrónico. Son ideales para materiales difíciles de unir y ofrecen una buena flexibilidad y resistencia a la humedad. su tiempo

de secado es mayor que el del pegamento de Etileno-vinilacetato, pero sigue siendo rápido, entre 15 y 30 segundos. Comparando con el anterior pegamento (EVA HMA), la poliamida tiene una unión más fuerte y resistente. Tiene una temperatura de aplicación entre 190-210°C. El tiempo de curado de este pegamento es de aproximadamente 24 horas [14].

Poliuretano reactivo (PUR): Combinan las propiedades de los adhesivos termoplásticos y los adhesivos reactivos. Ofrecen una adhesión superior, flexibilidad y resistencia a la temperatura y a la humedad, lo que los hace ideales para aplicaciones exigentes como la construcción y la fabricación de muebles. Los adhesivos PUR Hot Melt reaccionan con la humedad del aire o de los materiales a unir para formar una unión fuerte y duradera. El tiempo de secado inicial de este pegamento está entre 10 y 20 segundos, pero al igual que la poliamida se requiere un tiempo de curado de hasta 24 horas. La temperatura de este pegamento está aproximadamente entre 120-160°C. El poliuretano requiere un equipo específico para su aplicación [15].

Generalmente estos adhesivos deben incluir un mecanismo para permitir que las etiquetas pegadas se enfríen rápidamente. Esto puede ser un simple ventilador o un sistema de enfriamiento más complejo.

Dado que los adhesivos hot melt se aplican en estado fundido, es importante incluir características de seguridad para proteger a los operarios y al equipo de posibles quemaduras o daños.

I. Dosificación y máquina dosificadora.

Las máquinas dosificadoras son fundamentales en la industria para garantizar la precisión y eficiencia en la producción. Estas máquinas permiten una dosificación precisa y controlada de ingredientes y productos en las líneas de producción, optimizando los procesos, reduciendo desperdicios y cumpliendo con estándares de calidad y seguridad.

Existen varios tipos de máquinas dosificadoras. Las volumétricas dosifican según el volumen del producto, las gravimétricas según su peso, las de tornillo sinfín utilizan un tornillo giratorio y las por bombeo utilizan bombas de precisión para dosificar.

En la industria, las dosificaciones son necesarias para distribuir materias primas en cantidades exactas y secuencias de tiempo. Se diferencian entre dosificación para líquidos y para sólidos. Los alimentadores gravimétricos funcionan por pérdida de peso en un tiempo específico, mientras que los volumétricos miden el volumen y deben ser calibrados antes de cada uso.

Las bombas dosificadoras se usan en una amplia gama de industrias, desde agricultura hasta textiles, para inyectar químicos o sustancias para reacciones químicas o para agregar productos con precisión a un flujo de líquido, asegurando la consistencia y calidad del producto.

Las máquinas dosificadoras, vitales en industrias como la cosmética, farmacéutica, alimentaria y de bebidas, garantizan un llenado preciso, rápido, eficiente e higiénico, evitando contaminaciones, retrasos y desperdicios. Son esenciales especialmente en industrias sensibles como la farmacéutica y de alimentos, donde el llenado manual es poco práctico y riesgoso.

En el caso del pegamento se utiliza pistolas dosificadoras y cabezas de aplicación. Las pistolas dosificadoras pueden ser manuales o automatizadas y se utilizan para aplicar el adhesivo fundido en el punto de necesidad. Las cabezas de aplicación automatizadas están diseñadas para integrar directamente en las líneas de producción. Están conectadas a las unidades de fusión mediante mangueras calefactoras que mantienen el adhesivo a la temperatura adecuada desde la unidad de fusión hasta el punto de aplicación.

J. Secado del pegamento.

En el doblaje de etiquetas de cartón y su posterior plastiflechado requiere una comprensión detallada de los diferentes tipos de sistemas de secado disponibles, así como de los factores que afectan el secado de pegamentos en cartón. A continuación, presenta una revisión de los principales sistemas de secado y los factores que influyen en la elección del sistema adecuado.

Los principales factores que favorecen el secado de pegamento en cartón son los siguientes:

- Temperatura: Aumentar la temperatura acelera el secado al aumentar la tasa de evaporación del solvente en el pegamento.
- Humedad relativa: Una menor humedad relativa en el entorno favorece la evaporación del solvente, acelerando el secado.
- Circulación de aire: Una mayor circulación de aire sobre la superficie del pegamento ayuda a remover las moléculas de solvente evaporadas, acelerando el proceso.
- Superficie de contacto: Un área de superficie más grande facilita una evaporación más rápida del solvente.
- Tipo de pegamento: Diferentes pegamentos tienen diferentes tiempos de secado y requisitos de condiciones ambientales.

K. Sistemas de secado para pegamento.

Secado por Aire Caliente: Utiliza corrientes de aire caliente para acelerar la evaporación del solvente en el pegamento. Comúnmente utilizado en procesos industriales debido a su eficacia y velocidad. Este es método eficiente y puede integrarse fácilmente en líneas de producción automáticas. Algunas de las desventajas de este tipo son el consumo energético elevado y posible deformación del cartón si no se controla adecuadamente la temperatura.

Secado por Infrarrojos (IR): Utiliza radiación infrarroja para calentar directamente el pegamento, acelerando su secado. Adecuado para procesos rápidos y puede ser focalizado en áreas específicas.

Las ventajas de este método son principalmente es que es rápido y eficiente con menor consumo energético comparado con el aire caliente. Algunos de los contras de este método pueden no ser adecuado para todos los tipos de pegamentos y materiales, además de la necesidad de proteger al personal de la radiación IR.

Secado por Microondas: Se utilizan ondas electromagnéticas para calentar el pegamento desde el interior hacia el exterior. Algunas de sus aplicaciones son su eficacia para pegamentos a base de agua y ciertos tipos de adhesivos. Algunas de sus ventajas son el secado rápido y uniforme sin necesidad de altas temperaturas externas. Algunos contras de esta forma de secado es que tiene alta complejidad en la implementación y riesgo de sobrecalentamiento de ciertos materiales.

Secado por ultrasonido: En este método se utiliza ondas ultrasónicas para acelerar la evaporación del solvente en el pegamento. Al usarse a bajas temperatura se tienen riesgo mínimo de deformación del cartón. Un contra de este tipo secado es la eficiencia variable y requerimientos técnicos específicos.

Secado por desecación: Se utiliza desecantes (materiales que absorben humedad) para acelerar el secado del pegamento, es ideal para procesos en los que se requiere un control preciso de la humedad. No se requiere calor adicional, óptimo para materiales sensibles al calor. Como contras se tiene un tiempo de secado más largo y posible necesidad de reemplazo frecuente de desecantes.

L. Sistemas de calentamiento para los adhesivos hot melt.

Los adhesivos hot melt, como EVA, Poliamida y PUR, generalmente vienen en forma de pellets o bloques sólidos que deben ser fundidos antes de su aplicación. El calentamiento y la dispensación de estos adhesivos en sistemas automatizados se realiza mediante equipos especializados que aseguran un control preciso de la temperatura y la dosificación del adhesivo.

Las unidades de Fusión o Melters dispositivos funden los pellets o bloques de adhesivo hot melt. Están diseñados para mantener el adhesivo a una temperatura constante y homogénea, asegurando una aplicación uniforme. Estos sistemas incluyen un tanque de calentamiento, resistencias calefactoras y controles de temperatura. Algunos modelos avanzados también tienen bombas integradas para la dosificación del adhesivo fundido. Son normalmente utilizados en líneas de producción automatizadas para suministrar adhesivo fundido a pistolas o cabezales de aplicación.

Tanto las pistolas como las cabezas de aplicación suelen tener elementos calefactores adicionales para asegurar que el adhesivo se mantenga a la temperatura correcta durante todo el proceso de dispensación.

Algunas alternativas en el mercado actualmente para melters y pistolas de dispensación son la empresa Nordson (que tiene presencia a nivel nacional), Graco, Robatech.

M. Automatización.

Es un término que se utiliza para aplicaciones de tecnología en las que se minimiza la interacción humana. Incluye, por ejemplo, la automatización de procesos de negocio (BPA), la automatización de TI o las aplicaciones personales, como la automatización del hogar [16].

Para lograr la automatización del proceso de doblaje de la etiqueta, se debe diseñar priorizando los recursos existentes en la empresa, esto es, tanto la maquinaria, elementos de máquinas, elementos de accionamiento neumático y eléctrico, brazos robóticos, entre otros, así como los suministros de fluido eléctrico y aire comprimido.

Como se trata de una máquina automática, se hace necesario del uso de unidades de procesamiento para ejecutar instrucciones, es decir se requiere el uso de microcontroladores o microcontrolador. Ambos dispositivos permiten manejar entradas digitales y analógicas, lo que los diferencia son sus finalidades, el microcontrolador incluye unidades de procesamiento integradas que incluyen CPU, memoria y periféricos en un solo chip y está diseñado para estar integrado en dispositivos electrónicos y generalmente requieren protección adicional; Los PLCs pueden contener microcontroladores y/o microprocesadores como su núcleo de procesamiento, está diseñado con módulos de entradas y salidas industriales, protección contra interferencias electromagnéticas, robustez física y capacidades de operar en condiciones extremas de temperatura, polvo y vibraciones.

Una diferencia marcada entre estos dispositivos es la forma de su programación, los microcontroladores normalmente son programados en C o C++, como por ejemplo los microcontroladores STM32, aunque actualmente muchos de estos también se pueden programar en Python como es el caso del microcontrolador usados por las tarjetas Raspberry Pi. Que la programación de estos sea en código brinda una gran versatilidad en sus aplicaciones. Los PLCs son programados en un entorno de programación del fabricante del PLC, generalmente en lenguaje ladder, que es de mayor sencillas que los lenguajes en código, pero también menos versátil. Los fabricantes de PLC más conocidos localmente son, PLC AB(Allen Bradley), PLC Siemens, PLC ABB (Asea Brown Boveri), PLC Mitsubishi, PLC Delta, PLC Schneider, entre otros.

N. Unidad de mantenimiento neumática (FRL).

La unidad de mantenimiento neumática, comúnmente conocida como FRL (por sus siglas en inglés: Filter, Regulator, Lubricator), garantizan la correcta calidad del aire comprimido y filtran el aceite del compresor, el condensado y las partículas de suciedad del aire [17]. Esta unidad es esencial para mantener la eficiencia y prolongar la vida útil de los componentes neumáticos.

El primer componente de la unidad FRL es el filtro (Filter). Su función principal es eliminar las partículas sólidas y el agua del aire comprimido. Esto es crucial porque las impurezas pueden causar desgaste y daño a los componentes neumáticos. El funcionamiento del filtro consiste en que el aire comprimido entra en el filtro, donde pasa a través de un elemento filtrante que atrapa las partículas sólidas y separa el agua por medio de la gravedad. El agua se recoge en un recipiente en la parte inferior del filtro, que puede ser drenado manual o automáticamente.

El segundo componente es el regulador (Regulator), cuya función es controlar la presión del aire comprimido que entra en el sistema neumático. Mantener la presión adecuada es vital para el funcionamiento eficiente y seguro de los equipos. El funcionamiento del regulador implica que el aire filtrado pase a través del regulador, donde una válvula ajusta la presión del aire a un nivel preestablecido. Un diafragma y un resorte trabajan en conjunto para mantener esta presión constante, compensando cualquier variación en la presión de entrada.

El tercer componente es el lubricador (Lubricator), que añade una cantidad controlada de lubricante al aire comprimido. Esto reduce la fricción y el desgaste en los componentes neumáticos móviles, prolongando su vida útil. El funcionamiento del lubricador se basa en que el aire regulado pase a través del lubricador, donde una pequeña cantidad de aceite es introducida en el flujo de aire. Este aceite se atomiza y se mezcla con el aire comprimido, proporcionando una película lubricante a las piezas móviles del sistema neumático.

La importancia de la unidad FRL radica en varios aspectos. Primero, protege los componentes neumáticos al eliminar partículas y agua, y al mantener la presión y lubricación adecuadas, lo que evita el desgaste prematuro y el daño. Segundo, mejora la eficiencia operativa del sistema neumático al asegurar que el aire comprimido esté en óptimas condiciones, reduciendo tiempos de inactividad y mantenimiento. Tercero, garantiza la seguridad del sistema y de los operarios al mantener la presión del aire dentro de los niveles especificados, previniendo accidentes debidos a sobrepresión o fallos en los equipos.

Una de estas FRL instalada en el reverso de un tablero eléctrico, se enseña en la Fig. 5

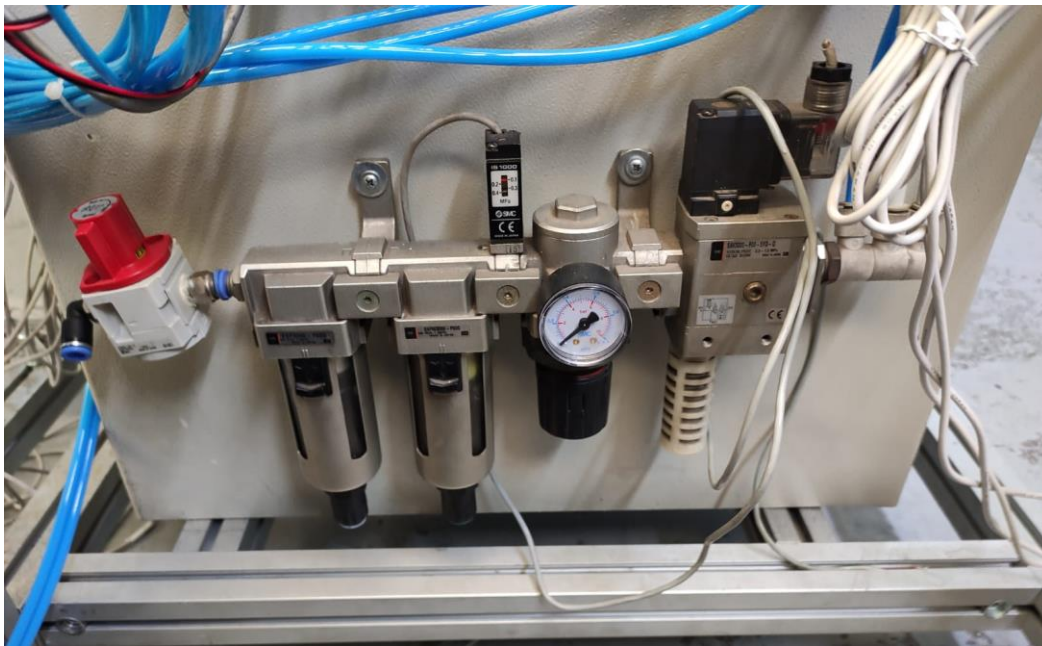


Fig. 5. FRL implementada en tablero eléctrico.

VI. METODOLOGÍA

La metodología por implementar será cualitativa, mediante reuniones periódicas con los asesores se dará el visto bueno para continuar con el proyecto de diseño o si hay que corregir. La metodología consiste en: El practicante se reunirá al menos dos horas con sus asesores, de forma que semanales se dé seguimiento al proyecto, además de implementar una bitácora con metas semanales y mensuales, donde cualitativamente se mida el avance de las metas y del diseño en general.

Además de las reuniones periódicas, se llevará a cabo un proceso de investigación que abarcará el análisis de literatura relevante, revisión de proyectos similares, y consulta con expertos en el campo de la ingeniería mecánica. Esta investigación proporcionará una base sólida para el diseño propuesto y permitirá identificar posibles desafíos y soluciones. Durante las reuniones, se discutirán los hallazgos de la investigación y se tomarán decisiones informadas sobre el diseño del proyecto. Se fomentará el intercambio de ideas y se buscará el consenso entre el practicante y los asesores para garantizar la viabilidad técnica y la relevancia del proyecto. Además, se establecerán hitos claros y objetivos alcanzables en la bitácora, que servirán como puntos de referencia para evaluar el progreso del proyecto. En la medida de lo posible registrarán los ajustes y mejoras sugeridos para el diseño. Esta documentación será fundamental para mantener un registro detallado del proceso y facilitar la comunicación entre todas las partes interesadas.

Tabla 1. Cronograma de actividades.

	Actividad	Descripción	días	Resultado
Mes 1				
Semana 1	CAD: Entorno de diseño	Aprendizaje entorno de diseño de Fusion 360	3	Modelo de ensamble de Cobot
	CAD: Entorno de animación	Aprendizaje entorno de animación de Fusion 360	2	Video animado del Cobot
Avance mensual	20%			
Semana 2	CAD: Entorno de render	Aprendizaje entorno de renderización de Fusion 360	1	Imagen renderizada
	CAD: Entorno de dibujo	Aprendizaje entorno de dibujo de Fusion 360	2	Planos piezas máquina Deditos
	CAD: Diseño cajetín	Desarrollo plantilla para planos en Fusion 360	2	Plantilla con cajetín
Avance mensual	15%			

. MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.

33

Semana 3	Planteamiento del problema	Planteamiento del problema de diseño	1	Benchmarking
	Objetivos y limitaciones	Se establece objetivos, limitaciones y especificaciones	2	Árbol de objetivos
	Función del dispositivo	División en subfunciones del equipo	2	Caja negra y caja transparente
Avance mensual	30%			
Semana 4	Generar alternativas	Planteamiento alternativas para las subfunciones	2	Arboles de concepto
	Evaluar alternativas	Evaluar las alternativas generadas	2	Diagrama morfológico
	Presentar alternativa final	Presentar propuesta ganadora a los asesores	1	Presentación
Avance mensual	35%			
Avance proyecto	12%			
Mes 2				
Semana 1	Realizar diseño SIN detalle	Realizar un modelo donde se plasme ideas principales	4	Modelo CAD
	Presentar diseño	Presentación de diseño a los asesores	1	Video animado
Avance mensual	35%			
Semana 2	Diseño mecánico doblaje	Diseño detallado mecanismos para doblar la etiqueta	5	CAD del sistema
Avance mensual	25%			
Semana 3	Diseño mecánico alimentación	Diseño detallado de alimentación de etiquetas	5	CAD del sistema
Avance mensual	20%			
Semana 4	Diseño mecánico transporte	Diseño detalle transporte de etiquetas	5	CAD del sistema
Avance mensual	20%			
Avance proyecto	37%			
Mes 3				
Semana 1	Diseño mecánico fijación	Diseño detallado de sistema para pegar la etiqueta	5	CAD del sistema
Avance mensual	20%			
Semana 2	Corrección subsistemas	Se identifican errores y se corrigen	5	CAD del sistema
Avance mensual	30%			

. MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.

34

Semana 3	Ensamble de subsistemas	Se ensamble el sistema completamente	3	CAD ensamble
	Corrección subsistemas	Se identifican errores y se corrigen	2	CAD ensamble
Avance mensual	20%			
Semana 4	Corrección de ensamble	Se identifican errores y se corrigen	2	CAD del sistema
	Animación del ensamble	Se realiza la animación del ensamble	3	Video de animación del sistema
Avance mensual	30%			
Avance proyecto	62%			
Mes 4				
Semana 1	Animación del ensamble	Se realiza la animación del ensamble	3	Video de animación del sistema
	Animación del ensamble	Se realiza la animación del ensamble	3	Video de animación del sistema
Avance mensual	20%			
Semana 2	Animación del ensamble	Se realiza la animación del ensamble	3	Video de animación del sistema
	CAD: Entorno simulación	Aprendizaje entorno elementos finitos de Fusion 360	2	Pieza critica del sistema simulada
Avance mensual	20%			
Semana 3	Simulación de piezas	FEA de piezas (si se requiere)	4	Piezas criticas simuladas
	Corrección de ensamble	Corrección de piezas (si se requiere)	1	CAD ensamble
Avance mensual	30%			
Semana 4	Presentación	Presenta diseño mecánico completo a los asesores	1	Presentación del ensamble
	Corrección diseño	Se realiza las ultimas correcciones	4	CAD ensamble finalizado
Avance mensual	30%			
Avance proyecto	77%			
Mes 5				
Semana 1	Diseño electrónico	Se comienza con el control de la máquina	5	Simulación electroneumática
Avance mensual	25%			
Semana 2	Desarrollo control	Programación en ladder o en código	5	Código compilado de la máquina
Avance mensual	25%			

. MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.

35

Semana 3	Planos de las piezas	Se realizan planos de las piezas	5	Planos de las piezas
Avance mensual	25%			
Semana 4	Planos de taller piezas	Se realizan planos de las piezas fabricar	5	Planos de taller de las piezas
Avance mensual	25%			
Avance proyecto	85%			
Mes 6				
Semana 1	Planos de ensamble	Se realizan los planos de ensamblajes y subensamblajes	5	Planos ensamble y subensamblajes
Avance mensual	25%			
Semana 2	Ultimas correcciones	Se realizan las ultimas correcciones del diseño	5	Planos, CAD y video
Avance mensual	35%			
Semana 3	Análisis de costos	Se proyecta costo de fabricación de la máquina	5	Cotización de la máquina
Avance mensual	20%			
Semana 4	Ultimas correcciones	Ultimas correcciones trabajos escrito	5	Trabajo escrito finalizado
Avance mensual	15%			
Avance proyecto	100%			

VII. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

A. Identificación de oportunidades.

En la empresa, se ha identificado una oportunidad significativa de mejora en el proceso de doblaje, pegado y plastiflechado de la etiqueta-caballete de cartón que se utiliza para empacar calcetines para un cliente canadiense en particular. Actualmente, este proceso se realiza

manualmente debido a su complejidad y a la falta de maquinaria específica que automatice estas tareas. Las operarias deben retirar un adhesivo de la etiqueta, doblarla en cuatro pasos específicos, posicionar las medias en el caballete y realizar el plastiflechado manualmente con pistolas de plastiflechado. Este proceso manual no solo es laborioso y repetitivo, sino que también es propenso a errores y variaciones en la calidad del producto final.

La etiqueta de cartón requiere un sistema de adhesión, que podría ser líquido, en frío o Hot Melt, dependiendo de la solución seleccionada. Además, se necesita un sistema que pueda desplazar las etiquetas o retirarlas del proceso, tomando las etiquetas de un magazín para doblarlas de manera automatizada. La integración de un sistema de plastiflechado eficiente es crucial, ya que actualmente se utilizan plastiflechadoras manuales y neumáticas, las cuales tienen un costo elevado debido a los mecanismos precisos y pequeños engranajes que poseen.




La implementación de una máquina automática que realice estos procesos permitirá reducir el esfuerzo manual y los tiempos de producción y mejorar la consistencia y calidad del embalaje. Esta máquina debe ser capaz de doblar, pegar y plastifluchar las etiquetas-caballete de manera continua, facilitando el trabajo de las operarias y aumentando la eficiencia operativa de la empresa. La automatización de este proceso representa una oportunidad para innovar y optimizar una etapa crítica en la producción y embalaje de medias, ofreciendo una solución integral que abarque desde la preparación de la etiqueta hasta el embalaje final del producto.


Para generar una visión general del panorama de algunas de las máquinas existente que realizan las tareas que debe cumplir la máquina a diseñar se realizará una especie de Benchmark con alguna de estas.

A continuación, se realizará un Benchmark simplificado, esto para tener idea de cuánto puede llegar a costar máquinas que hacen tareas similares, así como generar idea para el posterior diseño. En estas máquinas presentadas, no se tiene en cuenta el módulo de plastiflechado puesto que ninguna de estas máquinas está particularmente diseñada para la industria textil y de manufactura de prendas. Este se enseña en la Tabla 2.

Como se observa en la Tabla 2. un precio aproximado para una máquina que realiza el doblado y pegado de plegables de cartón, cuesta aproximadamente 10000 USD, solamente un módulo de doblado de camisas como la T shirt Folding and packaging Machine cuesta entre 3500 y 7000 USD. Aunque claramente, se trata de máquinas para tareas más robustas pero los principios de funcionamiento también serán aplicables a la máquina que se diseñará.

Tabla 2. Benchmark de máquinas de doblaje de cartón.

Imagen	Nombre	Precio aproximado USD	Módulo doblado	Módulo magazín	Módulo pegamento	Enlace de compra
	T shirt Folding and packaging Machine	3500-7500	x	-	-	https://www.alibaba.com/showroom/shirt-folding-machine.html
	Automatic Lid and base box folding machine	12000	x	x	x	https://www.indiamart.com/proddetail/automatic-lid-and-base-box-folding-machine-2852301897173.html
	Corrugated caron box auto folder gluer machine	20000-25000	x	x	x	https://czypackmachine.en.made-in-china.com/product/GyvJOLhKngkr/China-Automatic-Gluing-Machine-Carton-Molding-Machinery-and-Equipment-Corrugated-Box-Sticky-Box-Machine.html
	Factory Supply	11000	x	x	-	https://www.alibaba.com/product-

	<p>Cardboard Box Folding Machine Tray Former Machine Carton Erector Former</p>				<p>detail/Factory-Supply-Cardboard-Box-Folding-Machine_1601157691448.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.a60f6a5cPutlAx</p>
---	---	--	--	--	---

B. Establecimiento de objetivos.

La máquina debe cumplir con una serie de características evaluables para que sea factible, particularmente para este diseño se debe cumplir lo siguiente. La máquina debe ser fácil de ensamblar y de funcionamiento, a tal punto que los mecánicos, eléctricos y electrónicos de las empresas no requieran ayuda de un ingeniero para realizar los mantenimientos, ni reparaciones pertinentes cuando la máquina esté en planta, de la misma manera la máquina debe ser fácil de replicar y los repuestos fáciles de conseguir. La máquina debe ser económica, de tal forma que su inversión se recupere fácilmente. Se plantea un precio deseado de máximo aproximadamente 20000 USD.

Como se debe aprovechar los recursos existentes en la empresa, se debe dar prioridad a usar elementos mecánicos, neumáticos, electrónicos y piezas existentes en el almacén de la empresa que están a disposición de la Oficina de Mantenimiento y Mecatrónica para ser usados. Dentro de la empresa se tiene un paradigma en cuanto a las máquinas que usan para los procesos de acabo, por ejemplo, se utiliza ampliamente aire comprimido, máquinas y perfiles europeos (esto debido a que en un principio, la maquinaria que fue adquirida por la empresa en sus inicios fue importada de este continente, por lo que la empresa aprendió a trabajar con esta), para adquisición de datos se usan Raspberry Pi, para visualización e información, pantalla HMI, para el control de las máquinas se puede usar ordenadores industriales, PLC de diversas marcas, y en los últimos años se están comenzando a implementar algunos PLC Controllino; Los pistones y electro-válvulas generalmente son del proveedor japonés SMC o en su defecto el proveedor Festo. Generalmente las máquinas neumáticas están hechas de piezas de aluminio, acero inoxidable y en menor medida de polímeros y otros metales.

En cuanto la fabricación de la máquina, además de que se busca que sea fácil de ensamblar, se trata de que las piezas no comerciales sean realizables con mecanizado convencional e impresión 3D, la empresa servicio de mecanizado convencional de un tercero e impresora 3D; por lo anterior se debe dar prioridad a la fabricación de piezas de aluminio, PLA, Nylon entre otros.

La máquina debe ser ergonómica, segura y fácil de operar, ya que en algún punto se requiere que los operarios intervengan la máquina, para participar o alimentarla de material de empaque o hacer pequeñas calibraciones dependiendo de la referencia de calcetines que se trabaje.

En caso de implementación, el espacio para el que estará destinado la máquina impone limitaciones en su geometría, ya que las máquinas no deben ocupar mucho espacio. Actualmente el espacio donde los operarios realizan el doblado y plastiflechado de los calcetines en la etiqueta-caballote es considerable, por lo que se busca optimizar este espacio.

La información anterior se condensa en el árbol de objetivos, el cual se presenta en la Fig. 6.

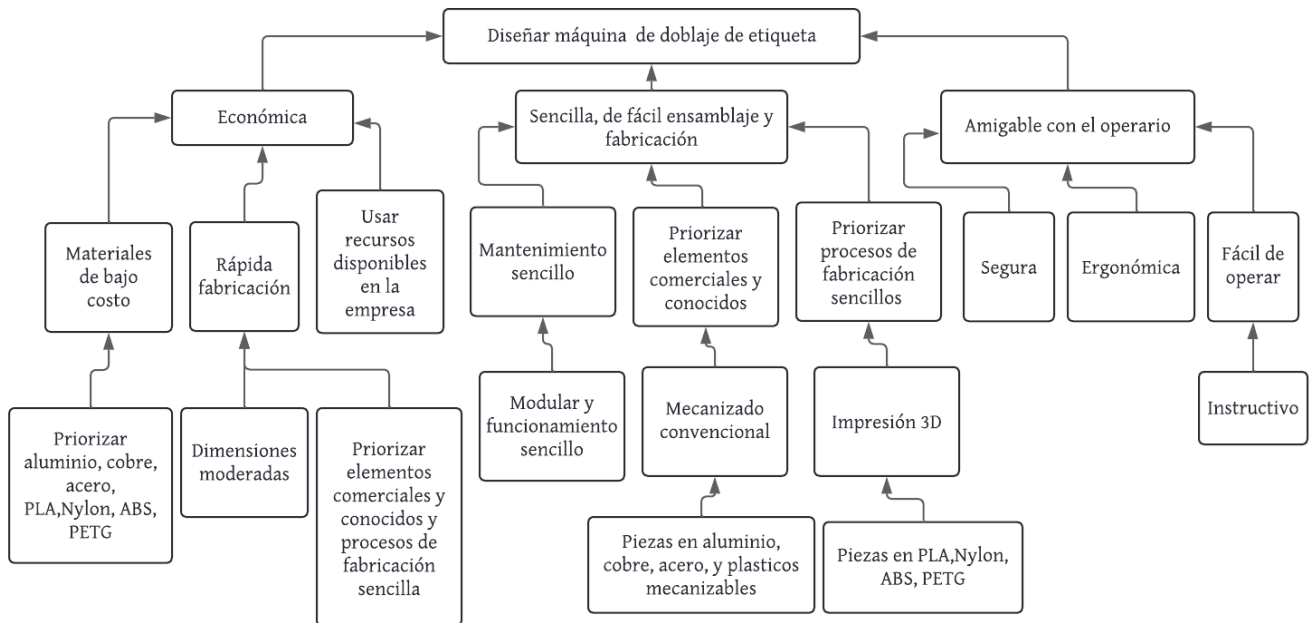


Fig. 6. Árbol de objetivos del diseño.

Teniendo en cuenta lo anterior, se procede a establecer las limitaciones que debe tener el diseño para cumplir los objetivos, esto se especifica en la tabla de especificaciones (ver Tabla 3).

Tabla 3. Especificaciones que debe cumplir el diseño.

Especificación	Descripción	Tipo
Volumen máximo	2 m x 2m x 1.5 m	Demandante
Tipo de estructura	Modular de postes (perfiles de aluminio) y placas	Deseado
Materiales	Aluminio, cobre, acero, PLA, Nylon, ABS, PETG, Acrílico	Deseado
Costo total de fabricación	Menor a 25000 USD	Demandante
Tiempo de fabricación	Menor a 4 meses	Deseado
Número de paquetes de calcetines por unidad de tiempo	Igual o superior a 200 paquete de calcetines/hora	Deseado
Uniones no permanentes	-	Demandante

Se aclara de la Tabla 3 que el dato de número de paquetes de calcetines por unidad de tiempo hace referencia a los paquetes conformados calcetines, etiqueta y plastiflecha, unidos por plastiflechado que salen del proceso que realiza la máquina por unidad de tiempo.

C. Función del dispositivo (División en subfunciones).

Para determinar con claridad las funciones y subfunciones, se usará la metodología de caja negra y caja transparente. A continuación, se presenta ambos diagramas en la Fig. 7 y Fig. 8.

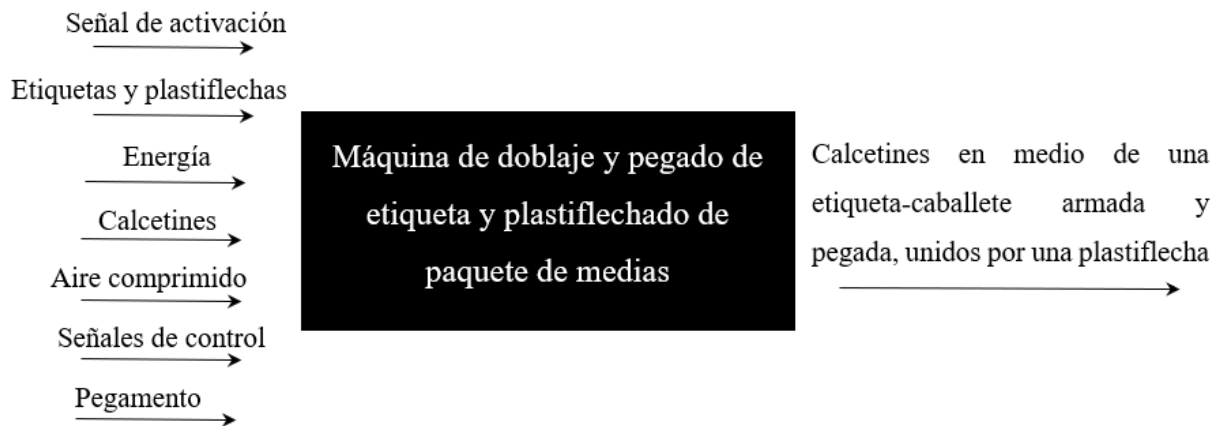


Fig. 7. Caja negra de la máquina a diseñar.

Básicamente, lo que nos dice el diagrama de caja negra es que a la máquina entra energía, esto para accionar los elementos mecánicos, térmicos, eléctricos y electrónicos, también entra señales de control, etiquetas, plastiflechas, energía, calcetines, aire comprimido para accionar la plastiflechadora y los actuadores (en caso que sean neumáticos), y entra el pegamento para unir la etiqueta, y la máquina debe transformar todos los recursos en un paquete de calcetines en medio de una etiqueta-caballete armada y pegada, unidos por plastiflecha.

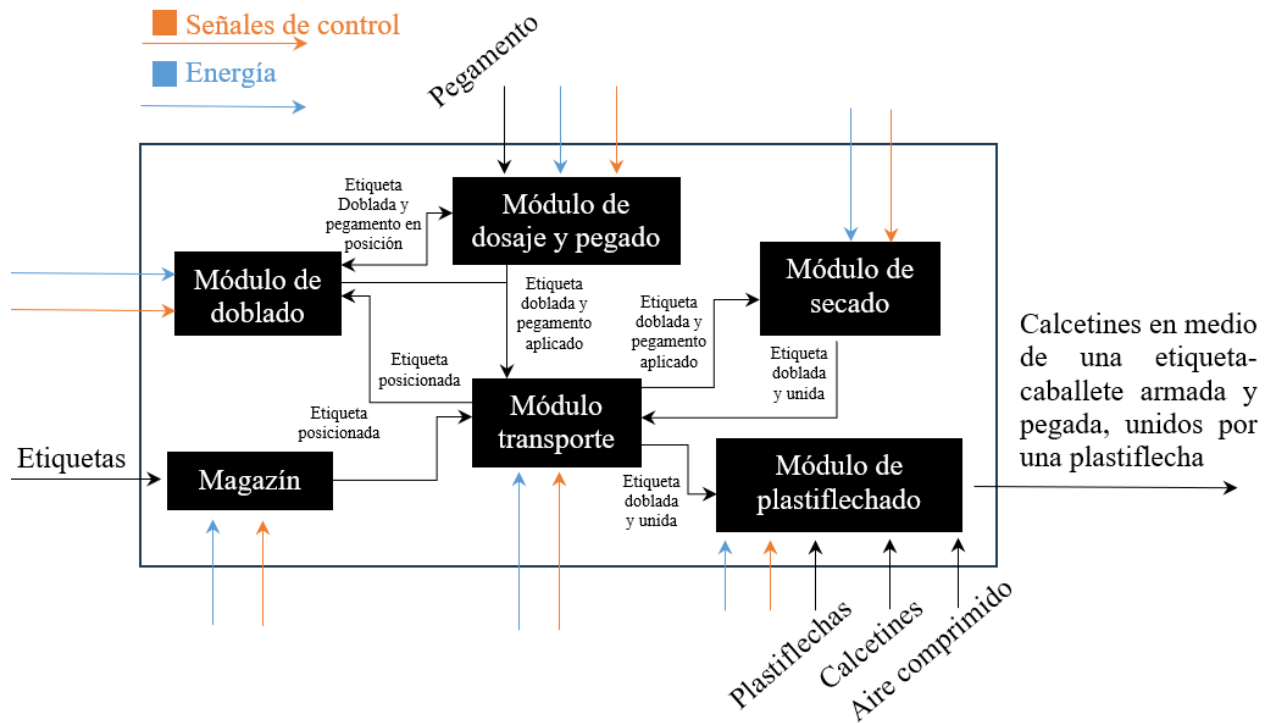


Fig. 8. Caja transparente del diseño.

La información que se encuentra en el diagrama de caja transparente es más específica que la caja negra, aunque no se entra en detalle en cada uno de las partes, subfunciones o módulos de la máquina por sencillas, la idea de estos diagramas es buscar entender la máquina nivel general, posteriormente se hará énfasis en cada uno de los módulos. Como se observa en la Fig. 8, en todos los módulos entran señales de control y energía para su funcionamiento, como tal, no necesariamente la máquina no será completamente secuencial, en el sentido de que transcurre por cada uno de los módulos en serie, sino que puede estar realizando tareas de secado mientras también plastiflecha y dobla, por ejemplo; Se tiene diferentes posibilidades para diseñar. Al módulo de almacenamiento de etiquetas o magazín debe entrar etiquetas, y de este módulo, debe salir una etiqueta en la posición correcta para ser desplazada por el módulo de transporte, el módulo de transporte se encarga de llevar a la posición correcta para comenzar a hacer el subproceso de doblado. mientras se está doblando la etiqueta seguramente haya que aplicar pegamento, por lo cual estos dos módulos deban trabajar en paralelo o estar activos al mismo tiempo, esto explica la flecha de doble dirección de la Fig. 8 entre estos dos módulos. Luego de aplicar pegamento y del doblado, el módulo de transporte se debe encargar de llevar la etiqueta hasta la zona de secado, o

sistema de secado, luego se debe llevar la etiqueta finalmente al módulo de plastiflechado donde se unirá la etiqueta y los calcetines. Finalmente, del módulo de plastiflechado sale el paquete de calcetines en medio de una etiqueta-caballette armada y pegada, unidos por plastiflecha.

D. Generación de alternativas.

Teniendo en cuenta la información de la caja transparente, se realizará ahora los árboles de conceptos, tanto para los módulos como para las entradas a la máquina. Claramente, para el caso de entradas que son fijas, como las etiquetas, calcetines y plastiflechas o módulos que ya están preestablecidos como el módulo de plastiflechado no se realizará los árboles de conceptos.

En cuanto al subproceso de pegado de etiqueta, se tiene dos opciones, usar pegamentos líquidos o adhesivos, en el caso de pegamentos líquidos se tiene pegamentos para aplicar en frío o pegamentos hot melt, los cuales requerirán de una infraestructura completa para su calentamiento. En el caso de usar adhesivo, se debe usar alguna especie de cinta doble faz, actualmente para realizar el pegado de las etiquetas se usa este tipo de pegamento. La anterior información se observa de forma sintetizada en la Fig. 9.

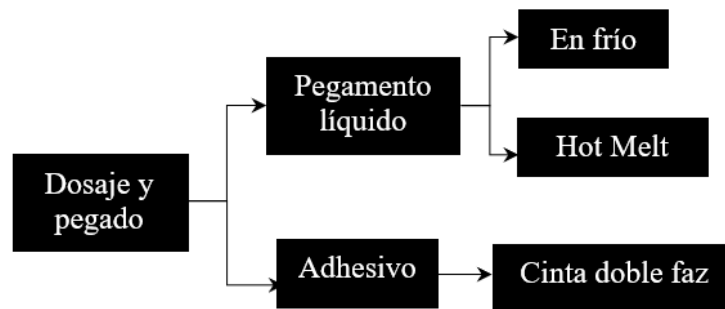


Fig. 9. Árbol de conceptos del módulo de dosificación y pegado.

Uno de los módulos o subproceso que tiene mayor variedad de posibilidades, es el doblado de la etiqueta, en este trabajo se tendrá en cuenta las siguientes posibilidades:

Mecánicas, entre las cuales se considera una secuencia de doblado accionada por mecanismos, estos mecanismos deben tener sus respectivos actuadores para lograr realizar el

doble, claramente, estos mecanismos deben tener un sistema impulsor (motor) que genere la potencia. La otra posibilidad mecánica considerada es un lo opuesto al sistema anterior, es decir, se tiene las placas, tubos y/o perfiles estáticos, y la etiqueta se mueve de tal forma que debido a la rigidez de las placas, tubos y perfiles la etiqueta se deforme y se obtenga la forma deseada. En el caso de considerar esta alternativa, prácticamente el módulo de doblado y de desplazamiento de etiquetan pasarían a ser el mismo.

Entre la alternativa neumática e hidráulica, para el sistema de doblado de la etiqueta, se consideran dos posibilidades, usar actuadores rotacionales y actuadores lineales. Con la diferencia que en hidráulica el fluido de trabajo son aceites hidráulicos en vez de aire y se trabaja a presiones mucho mayores, por lo que el caso hidráulico es usado generalmente para trabajo pesados. En ambos casos se tiene la posibilidad de usar actuadores rotacionales o lineales, los actuadores rotacionales pueden proporcionar control angular con buena repetibilidad, también suelen ser más compactos que los actuadores lineales, esto pueden doblar las etiquetas con un ángulo específico, por ejemplo, al girar un brazo que presiona la etiqueta contra una superficie para realizar el doblado, también estos serían ideales para sistemas que requieren rotas las etiquetas o componentes en diferentes orientaciones durante el proceso, al igual que puede ser implementados en mecanismos donde se necesita una rotación controlada para operar distintas herramientas o partes móviles de la máquina.

Análogamente, en cuanto a sistemas eléctricos y/o electrónicos, se tiene diferentes actuadores que pueden ser pertinentes para realizar la tarea de doblado, se puede considerar servomotores para realizar los dobleces, motores paso a paso, con articulaciones que permitan transformar el movimiento y lograr así doblar la etiqueta. Similar al caso neumático, se puede tener solenoides o actuadores lineales para realizar los dobleces. En el caso de usar actuadores lineales estos al proporcionar un movimiento lineal preciso, tiene ventajas como aplicación de fuerza constante a lo largo de su recorrido, simplicidad en el control, pues la posición y la velocidad en movimiento puede ser más sencillo y directo. Por lo anterior se hace útil para aplicaciones que requieren empujar, tirar o posicionar objetos en línea recta, por ejemplo, se podrían usar para empujar las etiquetas contra un molde o superficie para realizar el doblado, se podría usar estos para posicionar las etiquetas con precisión antes de realizar el doblaje.

Con La información anterior se construye el árbol de conceptos para el subproceso de doblado, este se presenta en Fig. 10.

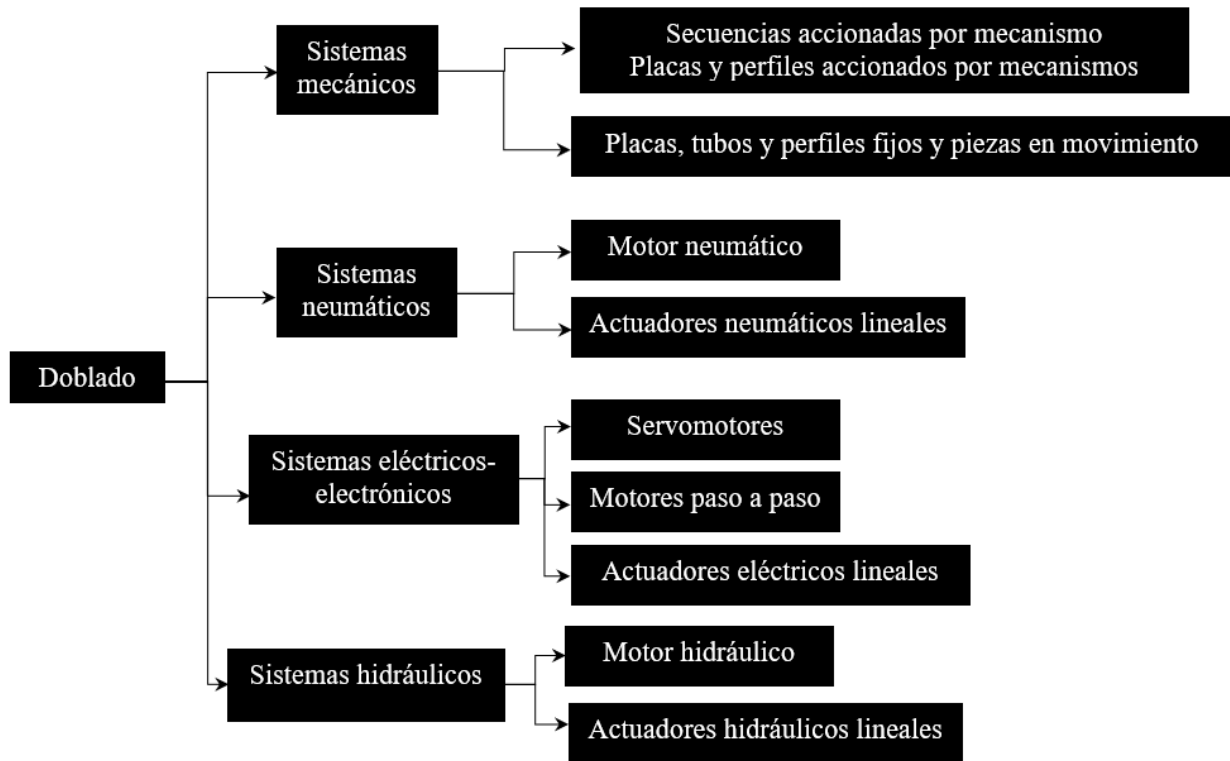


Fig. 10. Árbol de conceptos para el subproceso de doblado.

En cuanto al secado de la etiqueta y el pegamento al ser este aplicado se tiene dos opciones, secado asistido y no asistido. El secado no asistido es básicamente dejar la etiqueta a la intemperie, sin ninguna ayuda adicional, esta opción se hace viable principalmente si se tiene un pegamento que actúa con rapidez, no se necesitará todo un sistema completo, que, en términos, económicos y energéticos desfavorecen a la máquina, esto, debido a que será más sencillo integrar a la línea de producción y no requerirá tanto mantenimiento. En el secado asistido se tiene diferentes opciones, secado por aire caliente, secado por radiación, secado por ultrasonido y secado por desecación. La opción más económica y sencilla es el secado por aire. En el secado por radiación dependiendo del material y de la aplicación se da en diferentes longitudes de ondas, normalmente en el infrarrojo y en el rango de microondas. El secado usando radiación normalmente se usa para deshidratar, pero

estos métodos requieren una infraestructura considerable. El método de desecación al igual que los anteriores requiere determinada infraestructura, que puede aumentar las dimensiones y complejidad de la máquina. La información anterior se resume en el árbol de concepto del módulo de secado, este se presenta en la Fig. 11.



Fig. 11. Árbol de conceptos del módulo de secado.

Para desplazar la etiqueta, se plantean posibilidades mecánicas, neumáticas y eléctricos-electrónicas, en el caso mecánico se considera mecanismos de desplazamientos basados es mecanismos conocidos como el sistema biela-seguidor, biela-manivela, cremallera y el yugo escocés. En los sistemas neumáticos se considera desplazar las etiquetas con el accionamiento de los pistones, o también usando succión. Las soluciones al problema del desplazamiento de la etiqueta-caballete usando sistemas eléctricos y electrónicos son más amplios, por ejemplo, se puede usar un motor eléctrico para accionar una banda transportadora, motores y/o actuadores que “empujen” la etiqueta, realizando el desplazamiento de la etiqueta. Otra alternativa dentro de las electrónicas, se plantea el uso de un robot que desplace la etiqueta, sea en uno o más ejes dependiendo de las necesidades. El árbol de conceptos para el módulo de transporte se enseña en la Fig. 12.

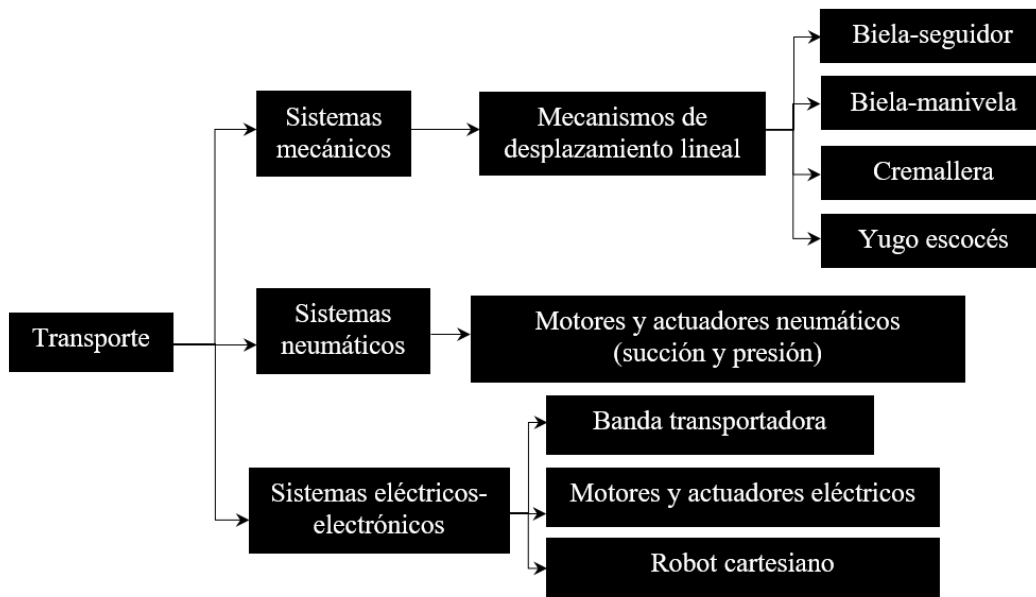


Fig. 12. Árbol de conceptos del módulo de transporte.

En cuanto a las alternativas para ingresar energía a la máquina, se tiene diversas opciones

El módulo de energía, crucial para el funcionamiento del sistema de doblado, ofrece diversas alternativas que deben ser consideradas en el diseño. Las posibilidades se clasifican en función de la fuente de energía utilizada:

En primer lugar, se encuentra la energía eléctrica, la cual puede ser suministrada por dos métodos principales. Las baterías proveen una fuente de energía portátil y autónoma, útil en situaciones donde el acceso a la red eléctrica es limitado o se requiere movilidad del equipo. Alternativamente, los tomacorrientes permiten conectar el sistema directamente a la red eléctrica, asegurando un suministro continuo y confiable de energía para operaciones prolongadas.

En segundo lugar, la energía mecánica se presenta como una opción viable mediante dos métodos de accionamiento manual. La manivela proporciona una fuente de energía manual, adecuada para aplicaciones donde se necesita un control preciso y la automatización no es viable. Similar a la manivela, el pedal ofrece una opción de accionamiento manual, permitiendo al operario

controlar el sistema mediante la fuerza del pie, lo cual es útil para mantener las manos libres para otras tareas.

La tercera alternativa es la energía solar, la cual utiliza paneles solares para captar la energía del sol y convertirla en electricidad. Esta opción es sostenible y respetuosa con el medio ambiente, siendo ideal para entornos con buena exposición solar y donde la reducción de la huella de carbono es prioritaria.

Finalmente, la energía química, generada a través de la combustión de gasolina, proporciona una fuente de alta potencia. Esta alternativa es adecuada para entornos donde se requiere una gran cantidad de energía y no hay acceso a la red eléctrica.

Con estas alternativas, se construye el árbol de conceptos para el módulo de energía, el cual se muestra en la Fig. 13, este árbol permite visualizar y evaluar las diferentes opciones de suministro energético.

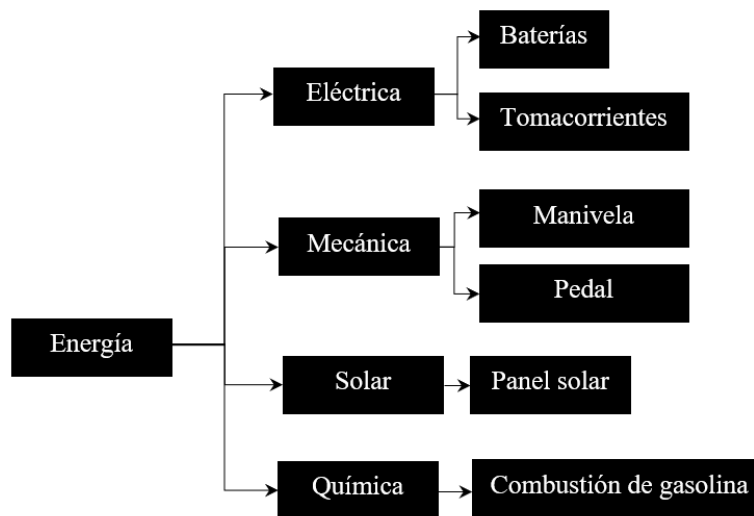


Fig. 13. Árbol de conceptos para la entrada de energía.

Ahora en el caso del magazín o el alimentador de etiquetas estos se clasificarán basados en el tipo de accionamiento que tendría el sistema, por ejemplo, la etiqueta puede ser desplazada por

una placa que está unida al vástago de un pequeño pistón, o con un sistema de arrastre mecánico con ejes traccionados se puede entregar una a una la etiqueta, también usando por ejemplo un motor paso a paso y un sistema de tornillo se puede alimentar el sistema de etiquetas. Lo anterior se enseña en la Fig. 14.

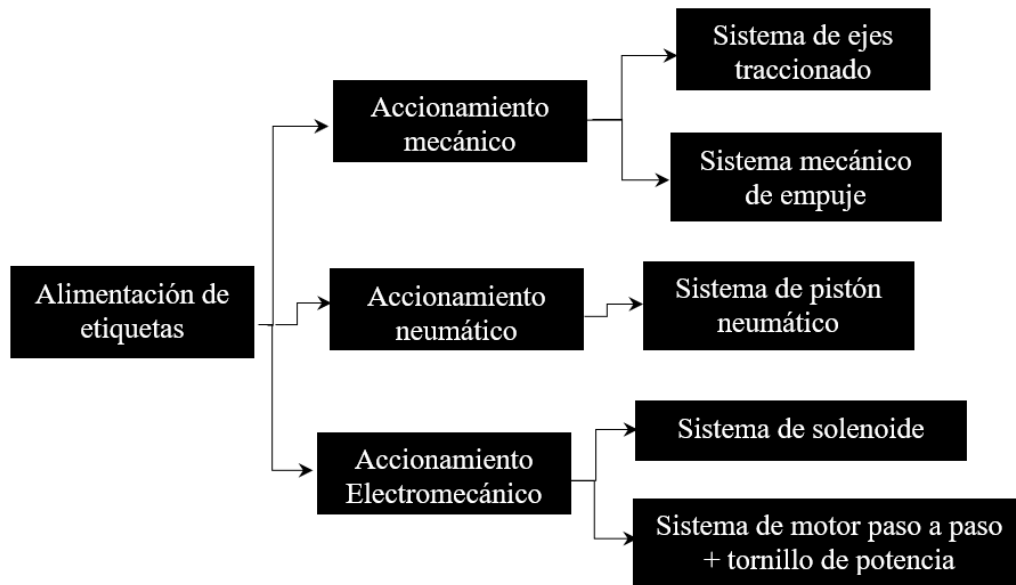


Fig. 14. Árbol de conceptos para el magazín.

Para las señales de control se tienen prácticamente sólo tres alternativas prácticas, las tres son bastante similares, ya que todas tienen procesadores para su funcionamiento, estas son señales de control por microprocesador, PLC o PC. Esto se detalla en la Fig. 15.

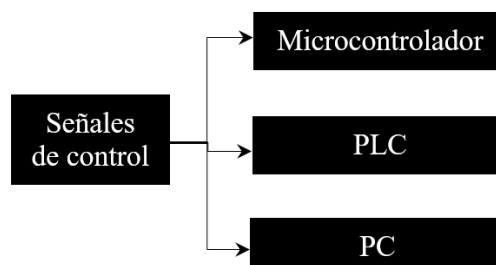


Fig. 15. Árbol de concepto señales de control.

Planteados los árboles de conceptos, ahora se realiza un diagrama morfológico donde se observan las alternativas que se consideran más viables.

Tabla 4. Diagrama morfológico del análisis de alternativa.

Subfunciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Dosificación y pegado	Pegamento en frío	Pegamento Hot Melt	Adhesivo	Pegamento Hot Melt
Doblado	Actuadores eléctricos lineales	Actuadores neumáticos lineales	Servomotores	motores neumáticos
Secado	intemperie	Intemperie	dsecación	aire caliente
Transporte	Banda transportadora	Actuadores neumáticos (succión y presión)	Yugo escocés	Biela-seguidor
Magazín	Sistema de ejes traccionados	Motor paso a paso + tornillo de potencia	Sistema neumático	Sistema de empuje mecánico
Energía	Tomacorriente	Tomacorriente	solar	Tomacorriente
Control	Microcontrolador	PLC	Microcontrolador	PLC

E. Evaluación de alternativas.

Teniendo en cuenta el árbol de objetivos, y el diagrama morfológico se logra plantear la evaluación de las alternativas. Esta información se resume en la Tabla 5. Donde se plantea los pesos de los subjetivos del árbol de objetivos.

Tabla 5. Evaluación de alternativas del diseño.

Subobjetivo	Peso/valor	Diseño 1		Diseño 2		Diseño 3		Diseño 4	
		Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor
Priorizar aluminio, cobre, acero, PLA, Nylon, ABS, PETG									
Dimensionas moderadas	0,1	3	0,3	4	0,4	2	0,2	3	0,3

Priorizar elementos comerciales y procesos de fabricación sencilla	0,2	4	0,8	5	1	2	0,4	2	0,4
Modular y funcionamiento sencillo	0,15	4	0,6	4	0,6	4	0,6	3	0,45
Seguridad	0,25	5	1,25	4	1	3	0,75	3	0,75
Ergonomía	0,25	2	0,5	3	0,75	3	0,75	2	0,5
Instructivo	0,05	4	0,2	4	0,2	4	0,2	2	0,1
Total	1		3,65		3,95		2,9		2,5

De la Tabla 5 se resalta que la alternativa ganadora es el diseño 2.

VII. RESULTADOS

A. *Diseño general.*

La alternativa ganadora, involucra los siguientes elementos: pegamento Hot melt, actuadores neumáticos lineales para doblar la etiqueta, un secado a la intemperie, actuadores neumáticos para el desplazamiento, para el magazín se tiene un sistema de motor paso a paso y tornillo de potencia.

El diseño de la máquina tuvo constantes modificaciones. A continuación, se presentan los cambios a nivel macro que sufrió el diseño. Aunque los subsistemas también experimentaron modificaciones continuas, no se enfatizará en cada uno, sino en los cambios macro más significativos.

Inicialmente, se enfatizó en el diseño del módulo de doblado de etiquetas, puesto que es el componente de mayor complejidad. Este módulo se inspira en los dobladores de camisa existentes y se basa en platinas articuladas para hacer dobleces en etapas. Para un correcto funcionamiento, es fundamental garantizar que la etiqueta esté posicionada correctamente, por lo que se debe utilizar succión en la base de la "cama" de doblaje. El material elegido para las platinas móviles y la platina fija del módulo será aluminio, debido a que estas no soportan cargas significativas (solo su propio peso y el de las etiquetas, y si el ángulo es mayor de 90° , la fuerza debida al contacto entre platinas, que tampoco es considerable; en la empresa, un compresor POLARIS asegura una presión de 100 PSI en toda la planta). Estas platinas deben tener bisagras para asegurar su movimiento. En este caso, debido a la forma de la etiqueta, se requieren dobleces de 90° o un poco más (máximo 92°), con el fin de asegurar el dobléz. Para accionar las compuertas o platinas que harán el dobléz, se pretende utilizar pistones de doble efecto ensamblados con algún tipo de articulación a las compuertas.

Para asegurar un fácil mantenimiento y reparación de la máquina, se plantea un diseño modular, de tal forma que sea fácil desensamblar un módulo específico del resto de la máquina. Por ello, se pretende realizar una estructura con perfiles para el módulo de doblado, que luego se ensamblará a la estructura de la máquina.

Algunas ventajas de usar perfiles ranurados (T-slots) son, entre otras, fácil ensamble, grado de libertad de traslación en uno o varios ejes para ajustes, ampliamente usados en la industria, de fácil adquisición y modificación en taller, es por esto por lo que se prima la utilización de estos como sujeción principal de los sistemas.

En la Fig. 16 se muestra el primer modelo simplificado desarrollado para este diseño.

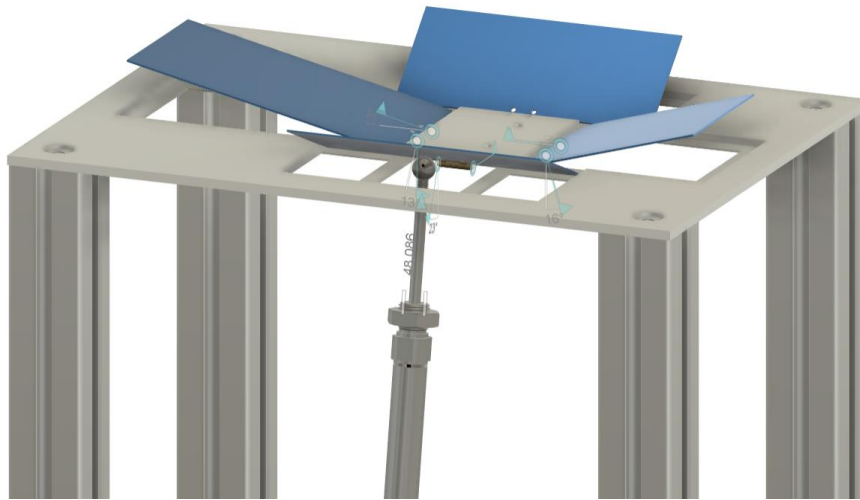


Fig. 16. Diseño etapa 1.

Luego de este primer acercamiento, se concentró en diseñar una articulación que permitiera transformar el movimiento lineal del pistón en un movimiento de rotación en las platinas. Para ello se utilizó como herramienta Fusion, corroborando que el mecanismo se comportara según lo esperado. Como el pistón debe tener cierta inclinación específica para que la articulación se comporte de la mejor manera, para asegurar esta, se diseñó unas piezas de aluminio que sirvieran para sujetar los pistones a la estructura del módulo de doblado. Tanto la articulación como los sujetadores se plantean para ser hechos por mecanizado convencional. Actualmente la empresa paga un taller de mecanizado a un tercero, a pesar de estar dentro de las mismas instalaciones, el valor hora de mecanizado es de 45000 COP aproximadamente. Se recomienda acero 1020 para la articulación debido a que tiene mejor comportamiento que el aluminio frente al desgaste y la fatiga, mientras que los sujetadores o holders del pistón se propone que sean de aluminio, puesto que no soportan cargas significativas. Las piezas anteriormente mencionadas se pueden observar en la Fig. 17. Se considera una elección prudente seleccionar pistones de 5 cm de recorrido para la aplicación, puesto que no se requiere un recorrido alto, simplemente transformar el movimiento y también se busca que la máquina sea de las dimensiones más bajas posibles. Los pistones seleccionados para realizar los dobleces son el pistón de SMC CD85N10-50-B trabajan a una presión máxima de 0.7 MPa (un poco más que la presión de trabajo dentro de la empresa, 100 PSI), estos se observan en la Fig. 17. El pistón seleccionado tiene un precio de 30.26 USD [18].

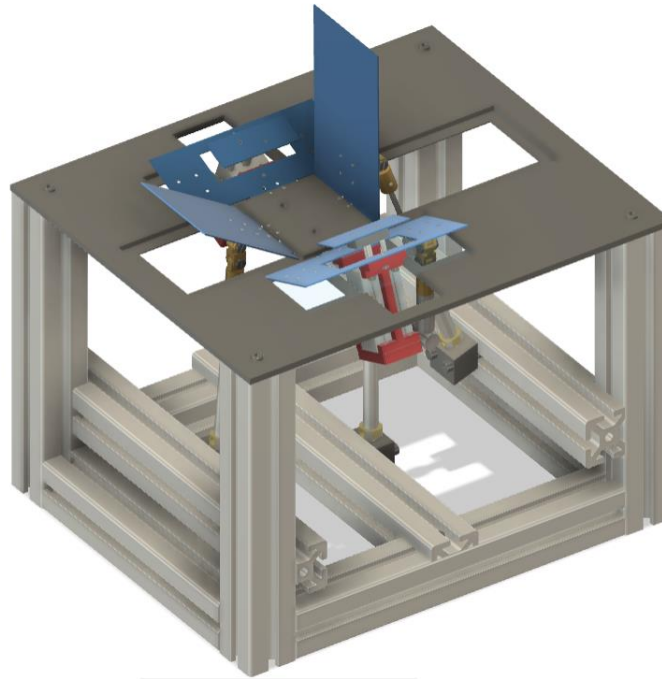


Fig. 17. Diseño etapa 2.

Debido a que se requiere asegurar que las pestañas queden dobladas cuando se hace el paso del estado 1 al estado 2 de la etiqueta (ver Fig. 3) se diseña una pequeña compuerta, la cual es accionado con pistón de poco recorrido (dentro de la industria se conocen como micro o mini pistones), claramente, este pistón debe moverse con las compuertas que son accionados con los pistones de mayor recorrido, por esto deben estar sujetas a estas. Con un sistema de postes y placas, se diseña la estructura para sostener el pistón que a su vez debe estar ensamblada a las compuertas con bisagras. Como se observa en la figura, los soportes para los micropistones se ensamblan a los pistones mediante un sistema de tornillos y tuerca, posteriormente se hará más énfasis en las sujeciones usadas. Los tres perfiles que usan para el ensamble de los sujetadores de los pistones deben ser mecanizados como se observa para su posterior ensamble. El micro pistón de doble efecto seleccionado es el pistón CDUK16-15T-XC34 de SMC, el cual tiene un recorrido de 15 mm y es un pistón guiado, este pistón tiene un precio de 48.64 USD [19].

En la siguiente etapa del diseño se comienza a plantear el sistema de desplazamiento de etiqueta, de inyección de pegamento y de secado. Dentro de los recursos disponibles en la empresa existe una corredera de desplazamiento útil de 90 cm aproximadamente, del fabricante FUYU, el

cual se selecciona para la tarea del transporte de la etiqueta, se plantea un sistema de 3 pistones, de tal forma que mientras que un pistón baja con un módulo de inyección de pegamento, inyecta pegamento y recoge la etiqueta del módulo de doblado, otro pistón de estos está tomando la etiqueta de un magazín de etiquetas y otro está haciendo presión a una etiqueta que está en el proceso de secado. La corredera soporta una carga máxima de 35 kg, esto debe tenerse en cuenta, a la hora de estimar el peso de los elementos. Esta corredera tiene referencia FUYU FPB60 E1000. El precio varía dependiendo de la longitud de la corredera, pero un precio aproximado es de 500 USD. Un vistazo general de esta idea se enseña en la Fig. 18.

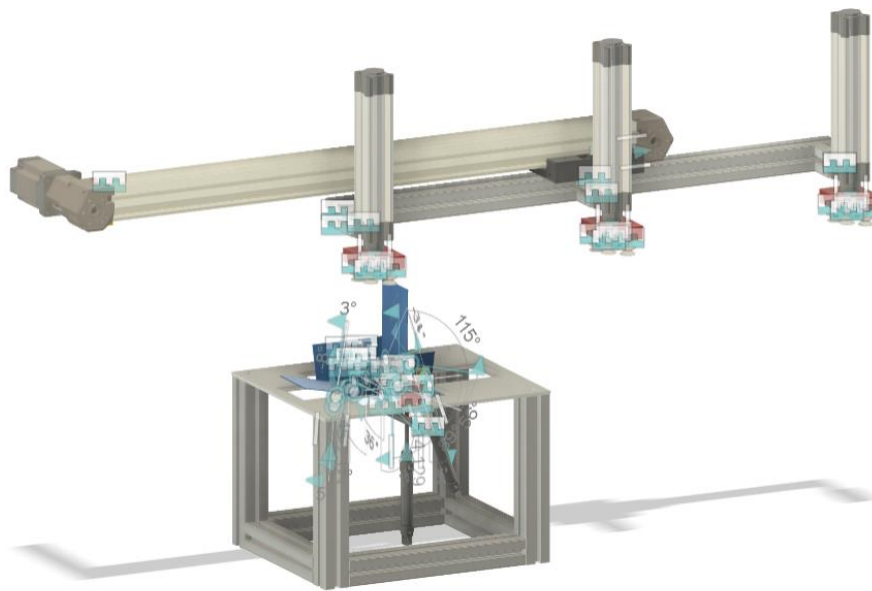


Fig. 18. Diseño etapa 3.

En la Fig. 18 se logra observar en los extremos de los pistones una pieza de color rojizo, la cual realmente será una placa de aluminio encargado de sujetar las ventosas, las cuales permitirán succionar las etiquetas para posteriormente ser desplazadas con la corredera. En este punto se identifica un problema con este sistema: Se propone realizar un agujero roscado en la placa de aluminio y así ser ensamblado al vástago del pistón el cual es roscado, pero al tratarse de pistones no guiados, se tendrá un grado de libertad de rotación en el eje del pistón, este problema se solucionará posteriormente. Por ahora no se tendrá en cuenta el sistema de dosificado del pegamento, el peso de este sistema, o por lo menos del sistema de dispensado del pegamento deberá ser soportado por la corredera.

Solucionado parcialmente el desplazamiento de las etiquetas se procede a plantear la implementación de los subsistemas de secado, una estructura general y de un magazín de etiquetas (ver Fig. 19). Se plantea una estructura en forma de mesa, con la posibilidad de desensamblar con facilidad el módulo de doblado que posiblemente será uno de los que requieran mayor mantenimiento. Se plantean dos zonas de secado, puesto que cuando se desplace la etiqueta del magazín a la zona de doblado un pistón quedará sin trabajo alguno, por lo que se decide tener dos zonas de secado, mientras se esté doblando, los otros dos pistones estarán posicionando las etiquetas en la forma que deben quedar unidas para evitar que la etiqueta se desarme mientras el pegamento seca y une la etiqueta. El sistema para retirar la etiqueta de la zona de secado se plantea usar un pistón doble efecto no guiado, el cual empuje las etiquetas.

En la Fig. 19 se logra observar que se tiene ciertos canales (pequeños tubos de color amarillo) en la placa que sujeta las ventosas, haciendo referencia a los conductos por los cuales fluiría el pegamento del sistema de dosificación e inyección de pegamento, el cuál será implementado en el diseño posteriormente. Posteriormente (en este documento) se incluirá en el diseño el sistema de dosificación debido a que este requiere más investigación al respecto, puesto que, dentro de la empresa no se tiene conocimiento acerca de dosificación de pegamento para cartón y su aplicación.

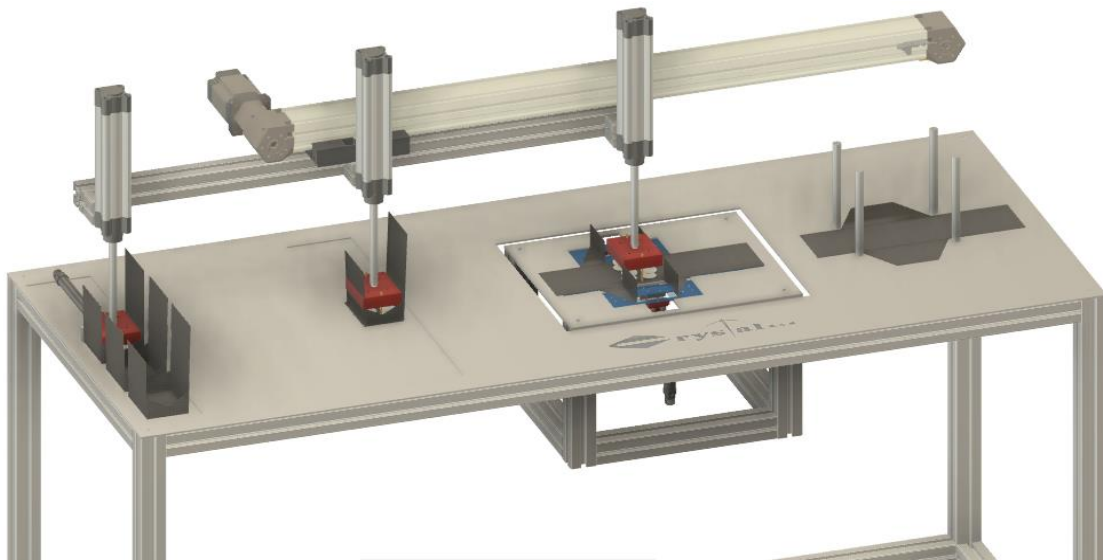


Fig. 19. Diseño etapa 4.

Se observa de la Fig. 19 que la mesa tiene ciertos aplanados con el ancho de la etiqueta cuando esté armada, los cuales sirven de canales para que la etiqueta-caballete conserve su forma con facilidad mientras no se ha secado el pegamento. Se identifican problemas con el diseño en esta etapa, pues el sistema de desplazamiento al usar pistones (es decir que estos tienen una carrera inmutable) para tomar y retirar las etiquetas, se requiere que las etiquetas estén siempre a la misma altura, por lo que el magazín debe rediseñarse de tal forma que la etiqueta siempre esté en la misma posición. También los “canales” mencionados anteriormente en la superficie de la mesa no serán suficientes para mantener la etiqueta-caballete armada mientras seca, por lo que se plantea usar otro sistema para este fin.

Teniendo en cuenta los problemas que presentaba el diseño en la etapa 4 y su respectiva solución, se llegó al diseño que se observa en la Fig. 20. El magazín ahora se plantea móvil con ayuda de un motor paso a paso y un sistema de tornillo y tuerca, el cual cuando un sensor que detecte el nivel de las etiquetas deje de estar interrumpida hará que el motor gire determinados pasos para situar de nuevo una nueva etiqueta al nivel óptimo para que el pistón del sistema de desplazamiento logre sujetar la etiqueta con succión. Adicionalmente se implementó un sistema de guías hechas básicamente con postes (cilindros) y tornillos, sujetados a la mesa o placa principal de la estructura de la máquina, los cuales además de ayudar a mantener en posición la etiqueta-caballete, sirven además para desplazar con facilidad las etiqueta cuando se esté retirando la etiqueta del subsistema de secado.

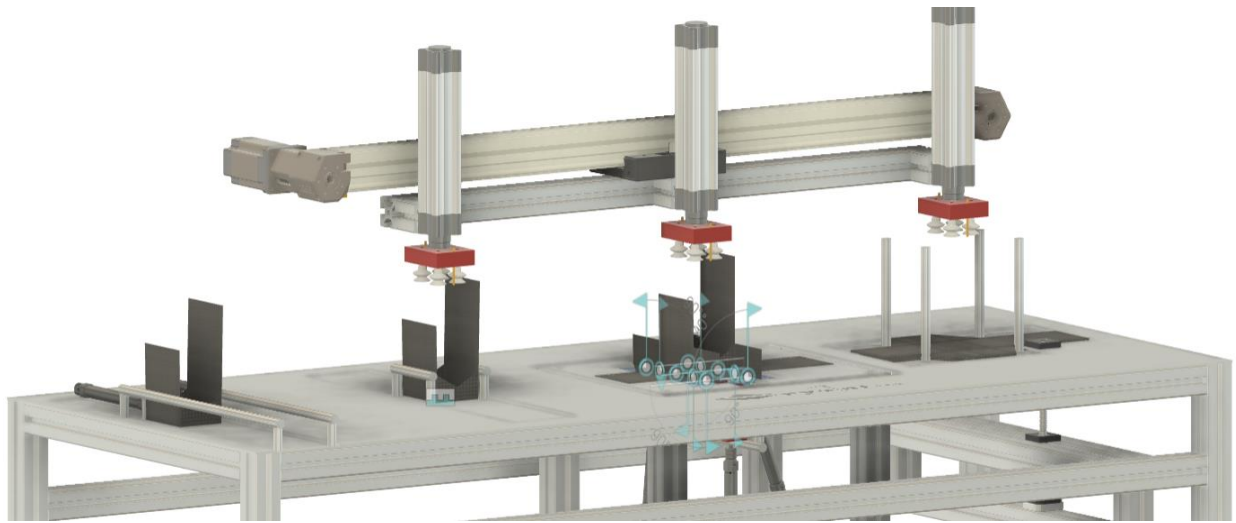


Fig. 20. Diseño etapa 5.

Posteriormente, se comenzó a implementar el módulo de plastiflechado. Es importante aclarar que este módulo ya había sido diseñado y llevado a cabo por la empresa para los calcetines que requieren ser plastiflechados en etiqueta-caballote, es decir que lo que se busca en el diseño es incluirla más no se hará énfasis en este módulo. Si es necesario se realizará modificaciones para lograr ensamblarlo a la estructura general de la mesa.

El módulo de plastiflechado se enseña en la Fig. 21.



Fig. 21. Módulo de plastiflechado para la etiqueta-caballote.

A grandes rasgos el módulo de plastiflechado simplemente se trata de una plastiflechadora neumática ensamblada a un sistema de pistón no guiado (aunque se realizó una especie de placa móvil con el pistón para evitar que este rote respecto al eje del vástago del pistón). Este sistema también cuenta con un sistema de presión realizado por una placa de aluminio (accionada por un pequeño pistón de bajo recorrido) esto debido a que cuando se trata de presentaciones de muchos pares de calcetines o calcetines deportivos de alto grosor, es necesario asegurar que la aguja de la plastiflechadora atraviese tanto el cartón del caballete como todo el paquete, para que la plastiflecha logre atravesar el paquete completo y este quede completamente unido. El módulo de plastiflechado tiene un costo de fabricación aproximado de 1500 USD.

En la Fig. 22 se enseña el sistema de plastiflechado implementado en el CAD de forma simplificada y modificada a las necesidades y el espacio de la máquina. En el CAD se presenta una versión simplificada, por ejemplo, esta no tiene la placa móvil que evita la rotación de la plastiflechadora y la placa que realiza presión en el paquete de medias se dispone estática.

Para llevar la etiqueta hasta la zona de plastiflechado donde el operario de producción dispondrá los calcetines dentro de este para plastiflechar se propone un pistón el cual en el extremo de su vástago tendrá una placa.

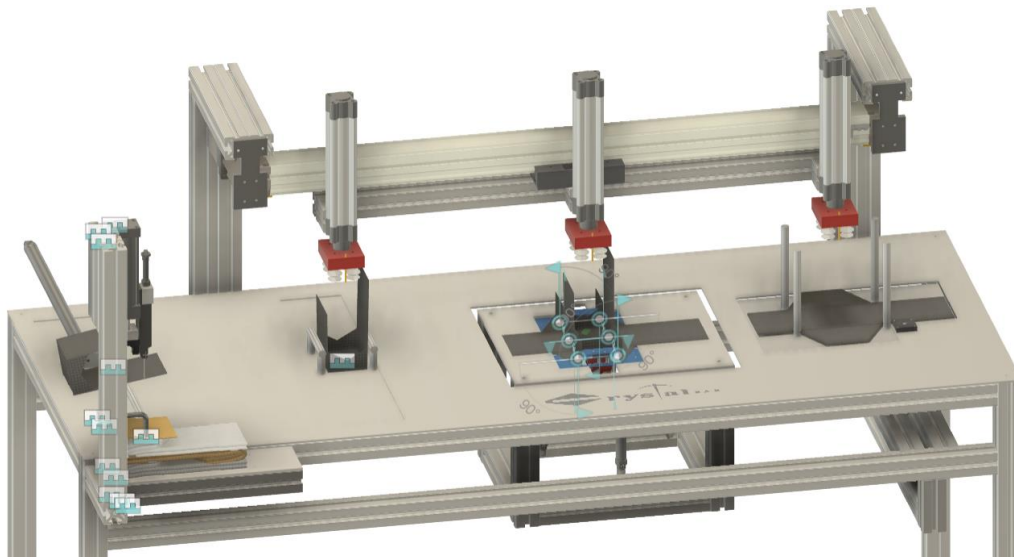


Fig. 22. Diseño etapa 6.

Como se observa en la Fig. 22 se implementó los perfiles para sujeta el sistema de desplazamiento, es decir, el sistema de la corredera FUYU, de los pistones y que sostiene el sistema de dosificación y dispensador pegamento. Posteriormente se tendrá que analizar la resistencia mecánica para determinar si es necesario cambiar la disposición de los perfiles, puesto que el sistema básicamente está en voladizo, por lo que los esfuerzos cortantes generados por la flexión pueden ser considerables y al tratarse de perfiles de aluminio estos pueden llegar a fallar si el peso sobre la corredera es elevado.

De la Fig. 22 se observa que la etiqueta de la segunda zona de plastiflechado está inclinada, esto para lograr que cuando se desplace las etiquetas usando el pistón se logre llevar esta en la posición correcta en la plastiflechadora, esta inclinación se puede lograr “tumbando” la etiqueta con ayuda de un poste anclado a la mesa y el pistón usando control.

Una inquietud planteada por el equipo de Ingeniería de la oficina de Mantenimiento y Mecatrónica fue que la mesa estaba sobredimensionada, en otras palabras, que la máquina ocupaba demasiado espacio para realizar la tarea. Por lo anterior se debe rediseñar la máquina de tal forma que se realice el mismo trabajo sin dejar tanto espacio sin utilizar entre las estaciones de secados. En este punto la mesa es de aproximadamente 1540 mm de largo.

Para solucionar este sobredimensionamiento se propone girar la etiqueta, mientras que el resto del funcionamiento de la máquina se mantiene exactamente igual. Esto implicaría reducir la mesa de 1540 mm a aproximadamente a 1 metro de largo, lo que implicaría una reducción de 35% respecto al largo anterior. La nueva disposición se puede apreciar en la Fig. 23.

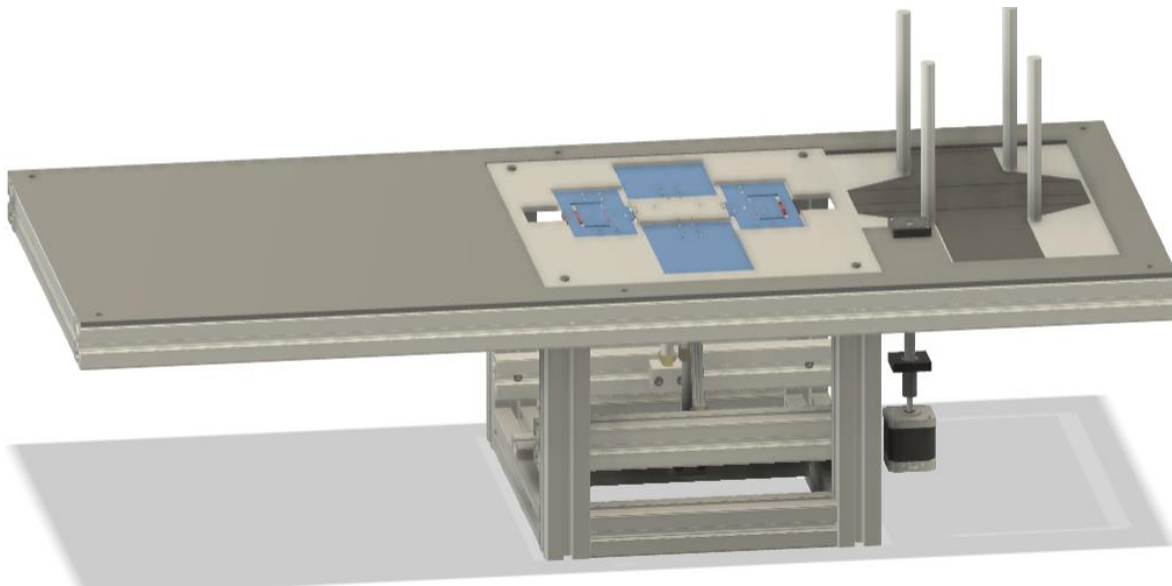


Fig. 23. Diseño etapa 7.

Ahora como la disposición de las etiquetas permite que la distancia entre los vástagos de los pistones del sistema de desplazamiento sea menor, puesto que la distancia entre la etiqueta en el módulo de alimentación de etiqueta o magazín y el módulo de doblado sería lo que determina el “paso” entre los tres pistones de desplazamiento, como esta distancia se redujo, la corredera FUYU de 1 metro quedaría sobredimensionada para la tarea, sin embargo, en el almacén de la empresa existe otra corredera FUYU de 600 mm, la cual se podría usar en la máquina. Esta corredera es exactamente igual a la corredera que se pensó usar inicialmente, simplemente cambia su longitud. Posteriormente se presentará el análisis del peso que soporta esta corredera y si es apta para la tarea, la reducción de longitud disminuye un poco el peso que soporta el carro de la corredera, además de reducir el torque sobre los soportes de la corredera sobre la corredera cuando el carro esté en los extremos.

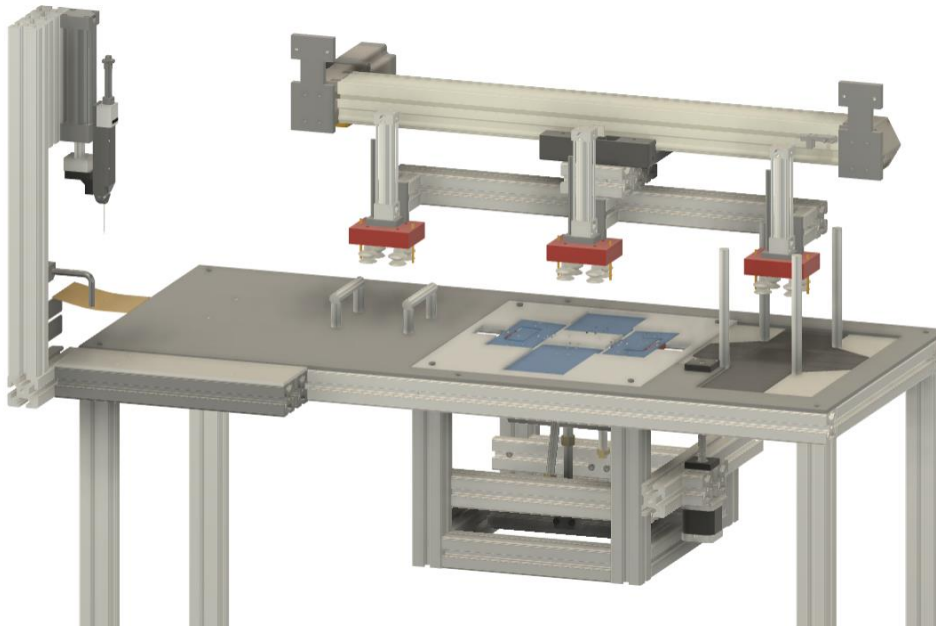


Fig. 24. Diseño etapa 8.

Anteriormente se había mencionado el problema existente con los pistones puesto que estos se habían planteado sin guiar, por la placa con las ventosas tenían el grado de rotación respecto al eje del vástago del pistón, la primera solución evidente para solucionar este problema sería cambiar los pistones por pistones guiados, pero generalmente estos para ser requeridos para tareas más exigentes son de mayor diámetro de vástago para el mismo stroke o recorrido respecto a los modelos sin guiar, por lo que tienen una estructura de mayor dimensiones, lo cual no favorece el diseño, dado que se requiere tener el menor peso posible, para disminuir los esfuerzos en la corredera y en los perfiles que sostienen esta. Por lo anterior, se diseña un sistema de guía, en la Fig. 24 se logra observar este sujeto al perfil de la corredera y a los pistones del sistema de desplazamiento, simplemente se trata de una placa con un agujero (que está sujeta al perfil de la corredera, es decir que esta placa sólo se desplazará horizontalmente y no verticalmente) y un poste con un extremo roscado que se ensambla a la placa de las ventosas, este poste debe coincidir con el eje del agujero de la placa, de tal forma que cuando el pistón se accione el poste se moverá verticalmente con este pero siempre limitado desplazamiento horizontal por el agujero de la placa, logrando así restringir la rotación.

Con respecto al diseño de la etapa 6, se plantea la inquietud de la rotación de la etiqueta de la última etapa de secado, pues se estaba considerando rotar la etiqueta con el mismo pistón del sistema de desplazamiento, esto se pensaba lograr con el movimiento horizontal y vertical combinado de los pistones, lo cual presentaba ciertos problemas, por ejemplo, en el caso de que la etiqueta no se encontrase completamente unida, con este movimiento podría desprender la etiqueta, igualmente, al cambiar la etiqueta de disposición, este efecto no se podría lograr sin cambiar la geometría de la placa de las ventosas. La alternativa para girar la etiqueta y posicionar esta para el plastiflechado se presenta en la Fig. 25.

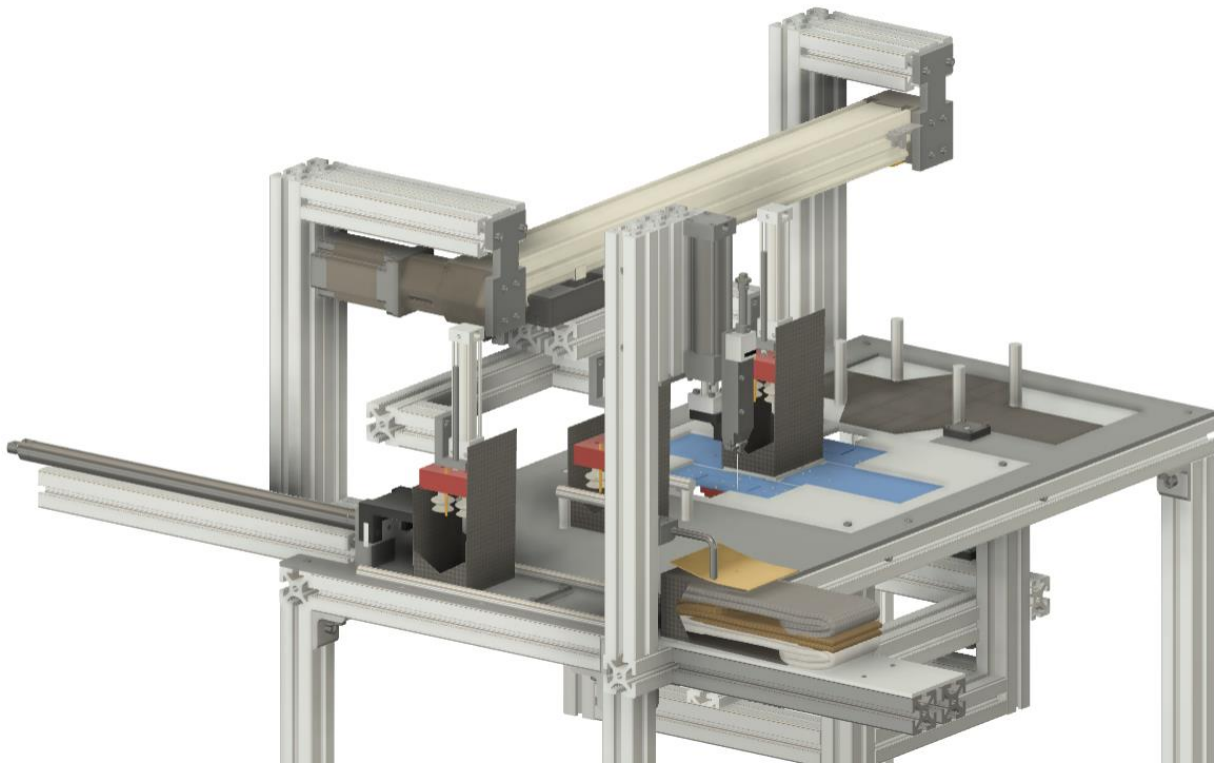


Fig. 25. Diseño etapa 9.

Como se observa en la anterior figura, el sistema de rotación consta de una placa impresa en 3D la cual será desplazada por un pistón sin guiar y una pequeña pieza que sirve de obstáculo cuando se esté desplazando la etiqueta, de esta forma la etiqueta será “tumbada” y por la forma de la placa luego empujará esta etiqueta hasta el módulo de plastiflechado, que como se observa en la Fig. 25, ésta cambió de disposición respecto al diseño en la etapa 8.

A pesar de estar el diseño completo en este punto (sin el módulo de dosificación y dispensación de pegamento), se plantea una inquietud respecto al diseño anterior, esto debido a que se estaba pensando usar un pistón de 14 in de recorrido para desplazar la etiqueta hasta el módulo de plastiflechado, lo cual iba a incrementar significativamente el ancho de la máquina, además del costo. En la empresa se tiene el paradigma de trabajar con pistones del proveedor SMC, los cuales son relativamente costosos, por lo que un pistón de dimensiones parecidas es poco práctico para la aplicación.

Para mejorar el diseño, se propone cambiar el sistema de arrastre de las etiquetas al módulo de plastiflechado. Para esto, se pretende “tumbar” la etiqueta con aire, es decir con una tobera y posteriormente empujar este con un pistón de 100 mm de recorrido, como se observa en la Fig. 26.

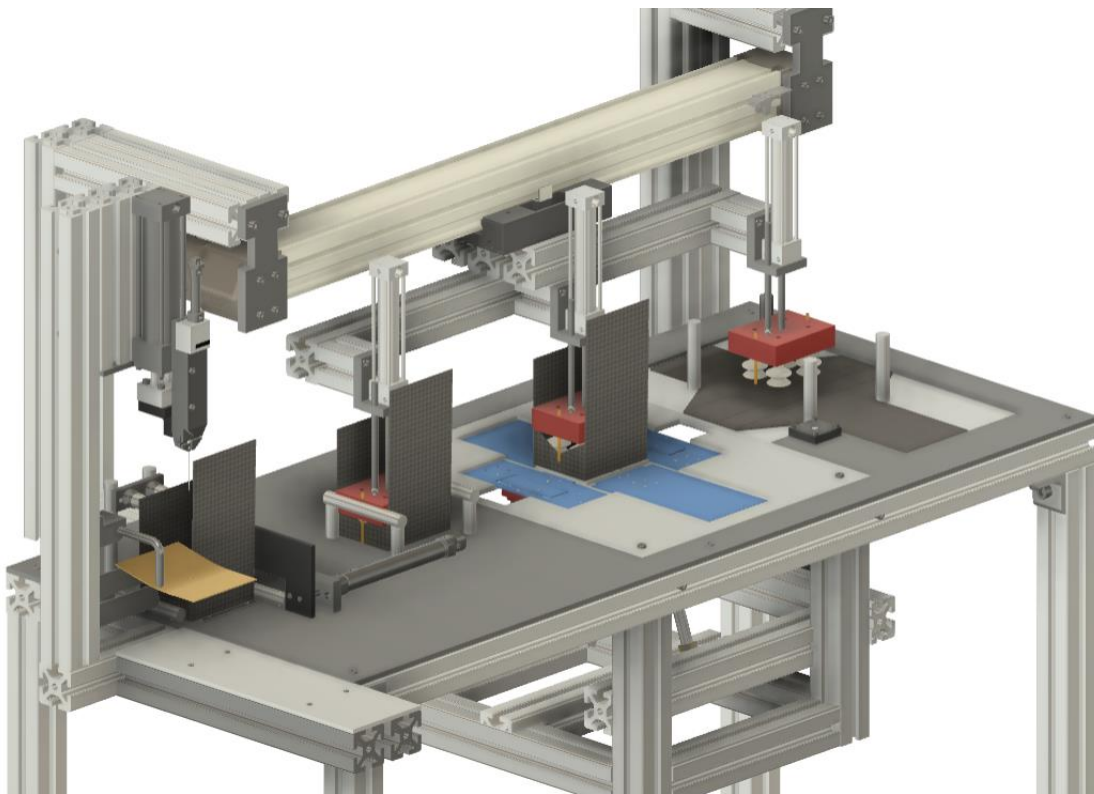


Fig. 26. Diseño etapa 10.

El sistema de tobera, puede ser simplemente una salida de aire con una válvula que controle su flujo, esto sumado a una pieza que sirve de pivote para que el flujo de aire ejerza un torque sobre

la etiqueta y lograr poner en posición a la etiqueta para luego ser arrastrada por el pistón hacia la zona de plastiflechado.

En este punto, todos los sistemas tienen una solución parcial y son viables para ser implementados, a excepción del módulo de dispensación y dosificación. Se tiene dos opciones, buscar una opción comercial o diseñar un sistema dispensación de pegamento. La segunda opción es poco práctica en el contexto del alcance de este trabajo, ya que implicaría un diseño y análisis de transferencia de calor, de mecánica de fluidos, neumática y de control relativamente complicado. Si se tiene en cuenta que la idea es tomar los pellets de pegamento Hot Melt de un recipiente usando vacío (dependiendo del flujo de pegamento requerido), para posteriormente ser fundido en un melter de dimensiones reducidas respecto a un sistema de melter sin control de succión (es decir un melter donde se mantenga todo el pegamento fundido, la ventaja de un sistema que succione solo el pegamento necesario, es que se requiere menos calor, es decir, menos potencia de funcionamiento en las resistencias eléctricas). El diseño de este recipiente deberá optimizar el área superficial del recipiente (para aumentar la conducción del calor), al igual que buscar un material con alta conductividad, materiales aislantes, mangueras que soporten la temperatura, y muchos otros factores, además se deberá diseñar un sistema de vacío para pellets, tener en cuenta la viscosidad del material para desplazar este hacia los cabezales o pistolas de dispensación, las cuales deben ser aptas tanto para trabajar a temperaturas de fusión del pegamento como para materiales viscosos, todo lo anterior accionado por neumática y con control sea por PLC o por microcontrolador; Es decir, este subsistema es básicamente una máquina completa. Por lo anterior, se opta con un sistema comercial.

La opción comercial seleccionado es el sistema INVISIPAC HM25, el cual es un sistema sin tanque y su funcionamiento es prácticamente el mencionado en el anterior párrafo, este sistema es del fabricante Graco. Un precio aproximado de este dispositivo es de 7400 USD.



Fig. 27. Sistema Hot Melt Invisipac HM25c.

Nota. Fuente <https://www.controlpack.com/blog/noticias/hot-melt-invisipac-unico-sin-tanque-y-a-demanda/>.

Este sistema no será modelado, se simplificará a poner dos cabezales de válvulas aptas para la disposición de materiales viscosos a altas temperaturas, los cabezales de este sistema se ensamblarán a una de las placas del sistema de desplazamiento, particularmente al pistón que está más a la derecha si vemos la máquina desde su vista frontal. Adicionalmente, de los agujeros de la placa que sostiene las ventosas y por los cuales fluye el pegamento fundido, se ensambla también tubería de cobre las cuales están casi al nivel de la etiqueta a pegar, esto para direccionar bien el pegamento donde se requiere y evitar salpicaduras. Lo anterior se puede observar en la Fig. 28. Es importante resaltar que estos cabezales no pueden interferir en el doblaje de la etiqueta, por lo que su ensamble debe permitir que los dobleces sean realizados.

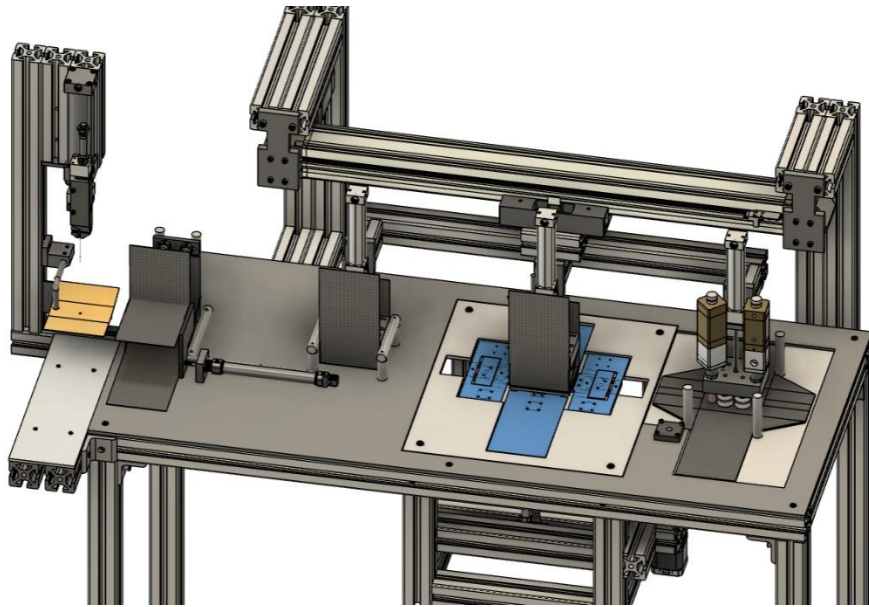


Fig. 28. Diseño etapa 11.

A la fecha (julio del 2024) la versión más reciente del diseño se enseña en la Fig. 29.

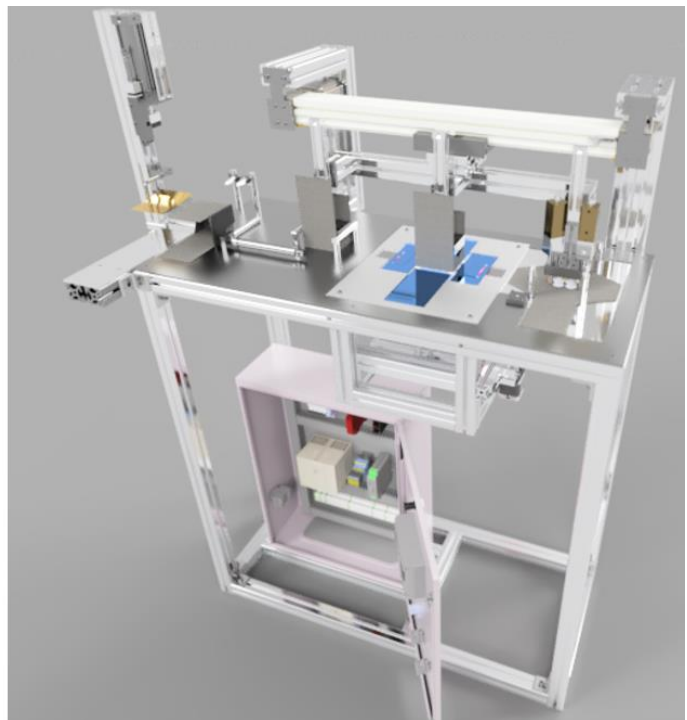
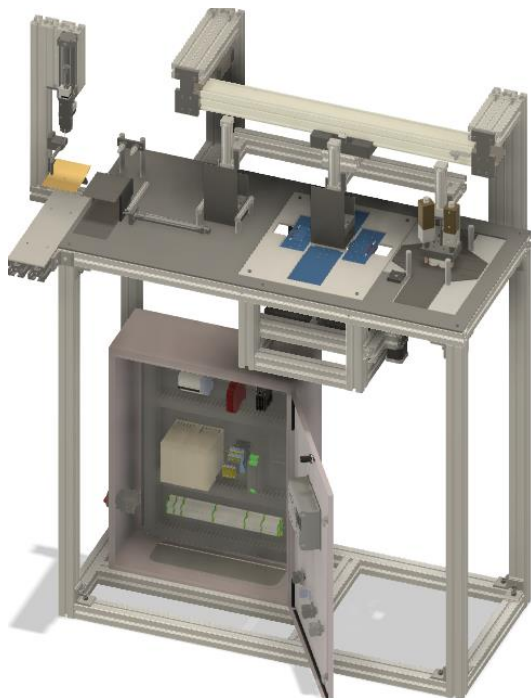


Fig. 29. Diseño etapa 12.

Es importante mencionar que el tablero eléctrico que se observa en la figura es un elemento solo representativo, fue modificado y tomado de [20], su diseño original fue realizado por Nicolas Mafra, posteriormente se revisará los elementos que realmente irán en el tablero eléctrico.

Analizando la secuencia se identificó un problema con el diseño. Este no había sido identificado, puesto que cuando se tenía la etiqueta en la orientación anterior no se tenía este problema (ver Fig. 30)

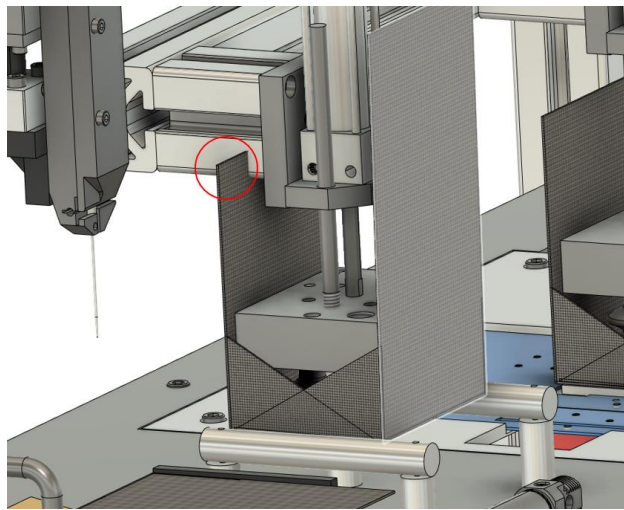


Fig. 30. Error en el diseño de la etapa 12.

Para solucionar este problema basta con realizar una pequeña ranura con fresadora de tal forma que no interfiera la etiqueta y el perfil, además de poner toques en los pistones para que su recorrido no sea completo sino lo justo para que el header desplace las etiquetas sin que la etiqueta choque con el perfil.

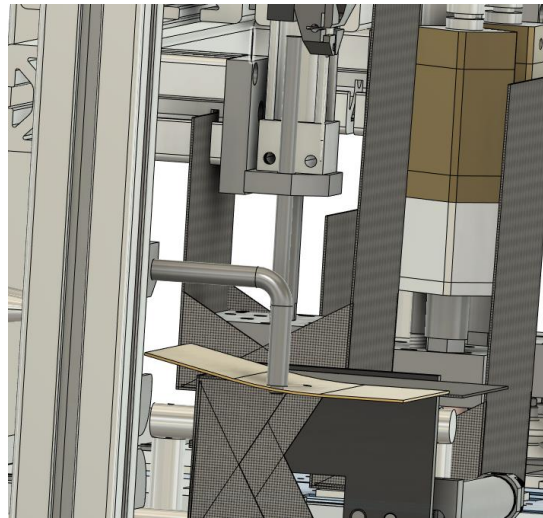


Fig. 31. Solución a error de solapamiento entre etiqueta y perfil.

Ahora, se entrará en detalle en cada subsistema de la máquina, teniendo en cuenta el diseño que se tiene a la fecha.

B. Estructura, perfilería y uniones

En la compañía se trabaja con elementos del sistema métrico principalmente, esto debido a que, al iniciar con la automatización de sus plantas, la mayoría de las máquinas se importaron de Europa, muchas de ellas de Italia, por lo que en general se priorizará elementos métricos ya que en estos países predomina el uso del sistema métrico.

Los tornillos de ensamble que se usarán serán M3, M4, M5 y cuando se requiera M6, buscando tornillería común y fácil de encontrar en el mercado local.

Para realizar las estructuras principales y las que soportan el sistema se usarán perfiles ranurados (T-Slot) cuadrados de aluminio 4040 (40mm x 40mm) macizo con ancho de ranura de 8 mm, de fácil adquisición y versátil. Se prioriza el aluminio debido a su facilidad de mecanizado. Este perfil es ampliamente usado en la industria y dentro de la empresa, por lo anterior se tiene alto conocimiento su manipulación según la aplicación. Además de este también se usará el mismo perfil, pero doble, T slot 40 x 80, este tiene la ventaja de tener dos puntos de sujeción

(posteriormente se hará más énfasis en las uniones de los perfiles), este punto de sujeción adicional restringe la rotación de los perfiles, además de ser una estructura más robusta, de mayor área transversal por lo que se usará también en las zonas que requieren resistencia a los mayores esfuerzos. El perfil que actualmente se usa en la empresa se presenta en la Fig. 32.

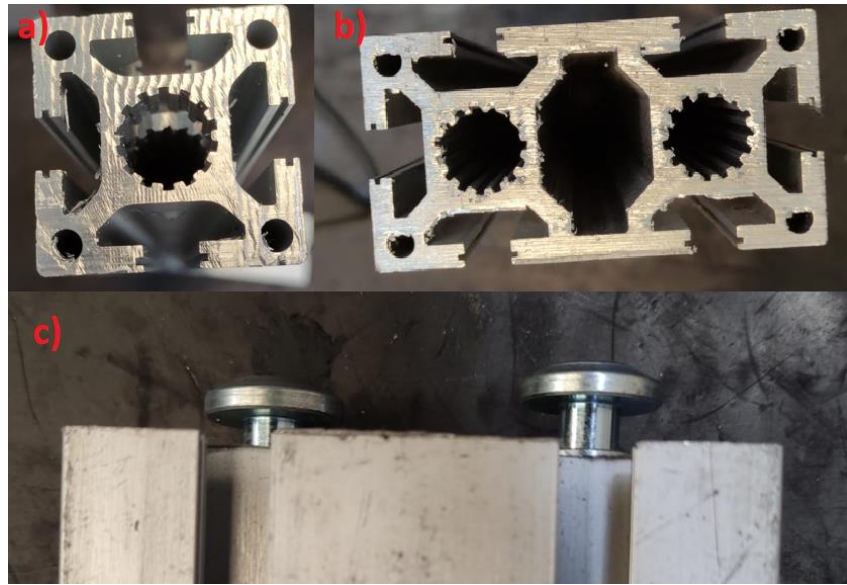


Fig. 32. Perfil ranurado 4040 de aluminio.

Este perfil es comprado por la empresa a un proveedor italiano que a su vez compra directamente al fabricante. Para evitar costos adicionales de importación, se selecciona un perfil del catálogo McMASTER-CARR de mayor sencillez, de más fácil importación y sin intermediarios, este perfil se presenta en la Fig. 33



Fig. 33. Perfil T-slot 4040 de aluminio de la MCMasterCARR.

Nota. Fuente <https://www.mcmaster.com/>.

Y su sección transversal se presenta en la Fig. 34.

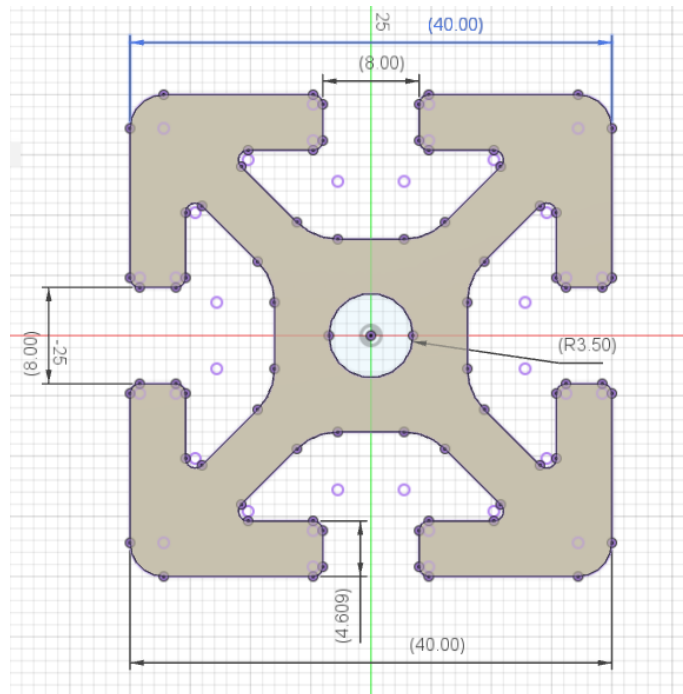


Fig. 34. Sección transversal del perfil T slot 4040 macizo seleccionado.

Ahora, para sujetar los perfiles entre sí se tiene múltiples opciones, pero se recomienda un sistema de unión de dos partes, el cual por medio de un tornillo prisionero M10 se logra obtener mayor o menor ajuste. A continuación, se presenta una imagen del sistema.

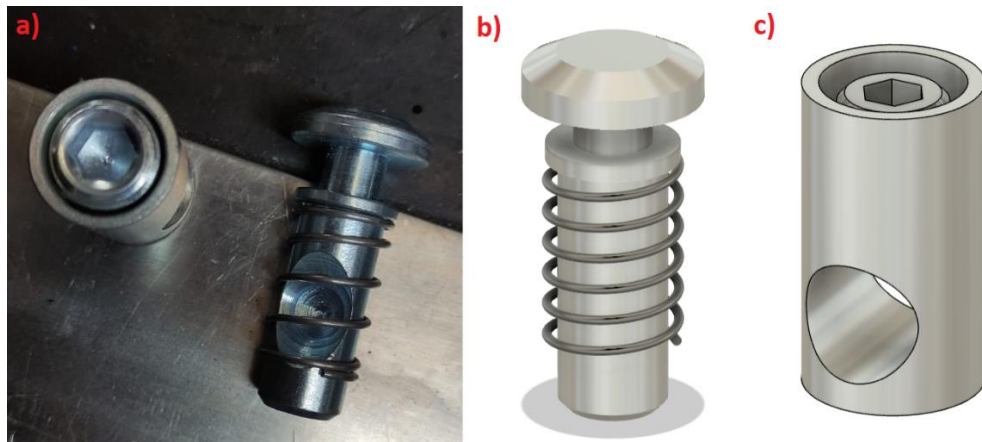


Fig. 35. Sistema de unión para perfil ranurado de aluminio 4040 sin ensamblar.

Y el sistema ensamblado se enseña en la Fig. 36.

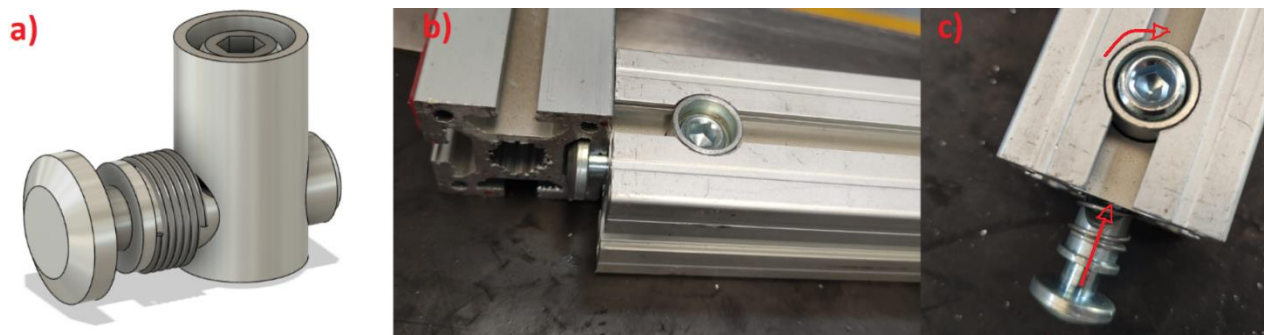


Fig. 36. Sistema de unión para perfil ranurado de aluminio 4040 ensamblado.

A medida que se rota en sentido horario al tornillo la parte 1 del sistema intenta desplazarse hacia dentro del perfil, logrando así apriete, esto se puede observar en la Fig. 36 c.

Este sistema es sencillo de ensamblar, versátil y de buena sujeción, el tornillo prisionero del sistema es M10 y se ensambla con llave hexagonal de 6 mm. La principal desventaja de esta forma de sujeción es que se debe taladrar los perfiles dependiendo de cómo se quiera sujetar y a pesar de que el aluminio se puede cortar con segueta, sierra manual o sierra de banco, herramientas de fácil acceso, en el caso de estos perfiles deben refrentarse en el torno, pues se debe garantizar que las caras de los perfiles sean rectas para asegurar la alineación en las estructuras. El agujero que debe tener el perfil debe estar a 20 mm del extremo del perfil y estar centrado respecto a la ranura, debe tener un diámetro de 17 mm y debe tener una profundidad de 30 mm. Para evitar sobrecargar el

diseño en CAD, el sistema de unión y los agujeros no se modelarán en el ensamble y que de esta forma sea manipulable en computadores de recursos medios. En la Fig. 37 se enseña un perfil con este agujero.



Fig. 37. Agujero para ensamble de sistema de unión entre perfiles 4040 o 4080.

En la mayoría de ocasiones se requiere unir diferentes piezas a los perfiles, o también unir perfiles de forma no convencional, es decir donde no sirve usar el sistema de unión mencionado anteriormente (como el caso de alguno de los perfiles del sistema de doblaje, enseñado en la Fig. 42), en estos casos se puede usar un sistema de tornillo y tuerca (y/o arandela) para perfil T-slot 4040 (40mm x 40mm), este tipo de tuerca se presenta en la Fig. 38.



Fig. 38. Tuerca de sujeción para perfil en T 4040.

Como se observa en la Fig. 38 se utiliza tornillería M4 para este tipo de tuerca. Este tipo de sujeción entre perfiles en T es muy común y es de fácil adquisición. Para sujetar piezas a los perfiles basta con tener un agujero y un tornillo que atraviese la pieza, y se atornille en la tuerca que estará en el perfil. Al igual que la sujeción anteriormente mencionada, esta no se tendrá en cuenta en el diseño por motivos computacionales. Se sobrentenderá que cuando las piezas y perfiles se tengan tornillería o agujeros para estos es necesario la tuerca de sujeción.

El material predominante seleccionado para realizar piezas de mecanizado será aluminio, cuando se refiera a piezas en aluminio se está refiriendo a la aleación de aluminio 6061, esta tiene una excelente combinación de resistencia mecánica y dureza, lo que la hace ideal para aplicaciones estructurales. Es relativamente fácil de mecanizar, lo que permite la producción de componentes precisos con costos razonables. Posee una alta resistencia a la corrosión, especialmente cuando está anodizada, lo que extiende su vida útil en diversas aplicaciones. En su defecto se usará la aleación 6063 conocida por su excelente acabado superficial y buena extrudibilidad, utilizada en marcos de ventanas y puertas, tubos y otros perfiles estructurales. También se considera la aleación 7075 Más resistente que la 6061, se utiliza en aplicaciones de alta resistencia como componentes aeronáuticos y estructuras de alta tensión. Para aplicaciones donde no se requiere aluminio 1100, el cual es un aluminio bastante puro pero de baja resistencia mecánica, para aplicaciones que no requieren resistencia mecánica se puede usar este material, debido a que es de fácil acceso a nivel local y de bajo costo.

Como se observa en la Fig. 39 la estructura de la máquina consta básicamente de perfiles y placas.

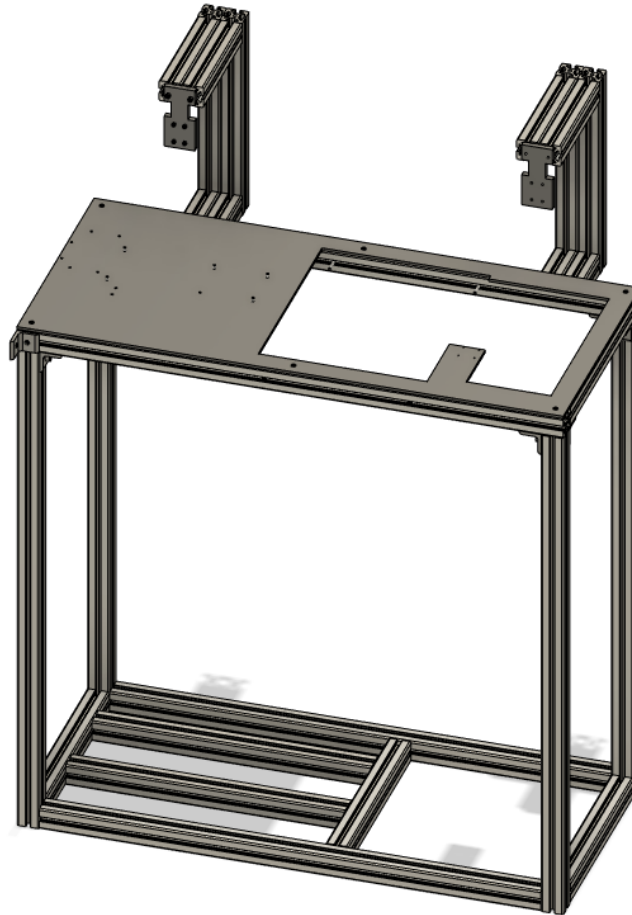


Fig. 39. Estructura de la máquina diseñada.

A continuación, se plantea una lista de estos elementos mecánicos para lograr una cotización aproximada.

Tabla 6. Elementos mecánicos estructura de la máquina.

Elem (00Structure)	Descripción	Qty	Material base	Fabricación/modificación	T (h)
01Table	Lámina de aluminio 5mm	1	Lámina de aluminio 5mm 1000mm x 450mm	Mecanizado convencional	4
02FuyuHolder	Placa Aluminio para corredera FUYU	2	Placa de aluminio 10 mm 170x55	Mecanizado convencional	1
03PER_HorizontalHolder1	Perfil de aluminio T slot 4040-220 mm	4	NA	Refrentado y perforado	0.5

MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.

76

04PER_HorizontalHolde r2	Perfil de aluminio T slot 4040-90 mm	4	NA	Refrentado y perforado	0.5
05PER_HorizontalPost1	Perfil de aluminio T slot 4040-360 mm	5	NA	Refrentado y perforado	0.7
06PER_HorizontalPost2	Perfil de aluminio T slot 4040-978 mm	4	NA	Mecanizado convencional	0.5
07PER_HorizontalPost3	Perfil de aluminio T slot 4040-500 mm	2	NA	Mecanizado convencional	0.3
08PER_VerticalPost	Perfil de aluminio T slot 4040-998 mm	4	NA	Mecanizado convencional	0.3
09M5Screw	Tornillo Allen Hexagonal M5 x 0.8 x 16	2	NA	Comercial	NA
10ProfileJoint	unión para Perfil 4040 en aluminio	50	NA	Comercial	NA
11ProfileBrackets	Soportes para perfil 4040 en aluminio	5	NA	Comercial	NA
12TuercasDeslizanesM4	Tuercas para perfiles en T 4040	30	NA	Comercial	NA
13M4Screw	Tornillo Allen Hexagonal M4 x 0.7 x 30	10	NA	Comercial	NA

Los costos asociados a los elementos mecánicos y su mecanizado se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 7. Costo de elementos mecánicos para la estructura de la máquina.

Elem (02MAGAZINE)	link	Qty	Precio USD	precio total COP
Lamina aluminio 1100 5mm	https://tectul.com/es/productos/laminas-de-aluminio-1100	1m x 2m (1/2)	NA	\$751,060.00
Bloque aluminio 1-1/4"	https://tectul.com/es/productos/barra-aluminio-6063-cuadrado	10 cm (1)	NA	\$17,150.00
Perfil de aluminio T slot 4040	https://www.mcmaster.com/products/t-slots/t-slotted-framing-rail-profile-single/system-of-measurement~metric/rail-height~40-mm/t-slotted-framing-rails-4/	10ft (4)	111.56	\$1,852,672.46
Allen Hex M5x0.8x16 pack x50	https://www.mcmaster.com/products/screws/socket-head-screws~/system-of-measurement~metric/thread-size~m5/length~16-mm/	1	11.03	\$45,793.69
4040 Aluminum Profile Joint	https://synrise.en.made-in-china.com/product/HdEAWrgGVjRn/China-High-Quality-4040-Aluminum-Profile-Accessories-T-Slot-Profiles-Screw-Quick-Connect.html	50	0.8	\$166,069.60

MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.

77

Soportes en L para perfil 4040	https://www.mcmaster.com/products/joints/framing-type~t-slotted/t-slotted-framing-structural-brackets-4/	5	7.46	\$6,194.40
Tuercas para perfiles en T 4040	https://www.amazon.com/uxcell-Sliding-Aluminum-Extrusion-Nickel-Plated/dp/B07L117D4N	30	9.49	\$39,400.01
Allen Hexagonal M4 x 0.7 x 30	https://www.amazon.com/-/es/Tornillos-tornillos-hexagonal-cil%C3%ADndrica-hexagonales/dp/B0CSG7F6HZ	50	21.3	\$88,432.06
Mecanizado	NA	7.8 horas	NA	\$351,000.00
TOTAL (00Structure)				\$3,317,772.22

C. Sistema de doblaje.

Este sistema es una estructura de placas, pistones, sujeciones (básicamente tornillos) y perfiles para lograr doblar la etiqueta. La idea es que con una plataforma base, que pretende sostener la etiqueta en la base y los agujeros rectangulares para que se desplacen láminas de aluminio (láminas azules), se escogió aluminio por su facilidad en el mecanizado y aunque la máquina no soportará esfuerzos de alta magnitud, aluminio con respecto a los requerimientos tiene buena resistencia mecánica; se aclara que el color no tiene particularidad, algunos elementos tienen colores por valor didáctico.

Para lograr que las láminas de aluminio doblen la etiqueta se usa un sistema de bisagra (que tiene un valor de 1.64 USD en la librería de MC-MASTER CARR de 5/8 de ancho, pero se pueden conseguir en el mercado local) para que estas logren moverse de una posición de 0 grados a 92 grados, tomando como referencia el plano horizontal de la mesa, las bisagras estando pivotadas en la plataforma base. El accionamiento de estas láminas se hará usando pistones, al tener movimiento solo en un eje, es necesario una articulación que permita el movimiento deseado de las láminas de metal. La articulación se diseñó con el software fusión 360, analizando el movimiento. Estas articulaciones estarán sometidas a desgaste, se recomienda que éstas sea de acero 1020. Los pasadores que restringe el desplazamiento y funciona como pivote que, para la rotación, serán de acero igualmente, básicamente serán postes con ambos extremos agujeros con rosca M3, para ensamblar un tornillo, donde su cabeza haga las veces de anillos de retención para que las partes de la articulación no se salgan del pasador.

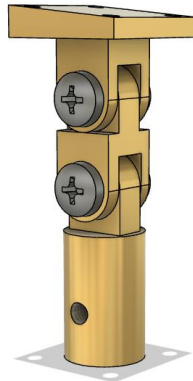


Fig. 40. Articulación de acero para sistema de doblado.

Estas articulaciones estarán ensambladas los pistones directamente o a ejes roscados que realicen el movimiento vertical. Para llevar al estado 2 a etiqueta esta puede hacerse en simultaneo para ambos lados de la etiqueta, es decir cerrar las pestañas izquierdas y derechas de las etiquetas, por lo que solo se requiere un pistón con un sistema de postes para cambiar el movimiento del pistón a dos puntos de aplicación de movimiento vertical a dos articulaciones diferentes. Todas las placas tienen agujeros para ensamblar boquillas para ejercer succión, para sujetar las etiquetas cuando se requiera en el proceso de doblado.

La estructura de este sistema consta de una placa de aluminio, perfiles de aluminio, tres placas inclinadas para la sujeción de los pistones y tornillería M3.

En la Fig. 41 y Fig. 42 se presenta dicho mecanismo.

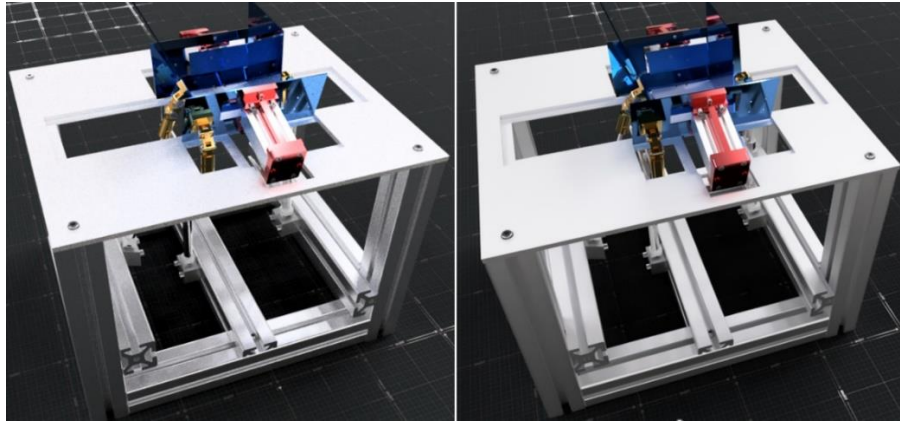


Fig. 41. Render del subsistema doblado.



Fig. 42. CAD del subsistema doblado.

A continuación, se presenta una lista detallada de los elementos mecánicos necesarios para el diseño de este subproceso.

Tabla 8. Elementos mecánicos módulo de doblado.

Elem (01BENDING)	Descripción	Qty	material base	Fabricación/modificación	T (h)
01BedBase	Base de la cama de doblaje	1	Lámina Aluminio 5mm 300x360 mm	Mecanizado convencional	2
02Hinge	Bisagra 5/8" de ancho	4	NA	Comercial	NA
03Sheet1	Lámina de aluminio para doblez1	2	Lámina Aluminio 1mm 60x130 mm	Mecanizado convencional	1
04Sheet2	Lámina de aluminio para doblez2	1	Lámina Aluminio 1mm 98x80 mm	Mecanizado convencional	0.5
05Sheet3	Lámina de aluminio para doblez3	1	Lámina Aluminio 1mm 150x80 mm	Mecanizado convencional	0.5
06Sheet4	Lámina de aluminio para doblez3	2	Lámina Aluminio 1mm 65.5x23 mm	Mecanizado convencional	0.5
07PER_VerticalPost1	Perfil de aluminio T slot 4040-247.5 mm	4	NA	Refrentado y perforado	0.3

. MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.

80

08PER_LateralPost1	Perfil de aluminio T slot 4040-220 mm	2	NA	Refrentado y perforado	0.3
09PER_LateralPost2	Perfil de aluminio T slot 4040-280 mm	2	NA	Refrentado y perforado	0.3
10PER_LateralPost3	Perfil de aluminio T slot 4040-300 mm	1	NA	Mecanizado convencional	0.2
11PER_LateralPost3	Perfil de aluminio T slot 4040-300 mm	2	NA	Mecanizado convencional	0.4
12PistonHolderBody1	Placa aluminio estructura micropistón	2	Placa aluminio 8mm 40 mm x40 mm	Mecanizado convencional	0.5
13PistonHolderBody2	Poste aluminio estructura micropistón	4	Placa aluminio 6mm 63 mm x32 mm	Mecanizado convencional	1
14PistonHolderBody3	Placa aluminio estructura micropistón	4	Placa aluminio 6mm 14 mm x32 mm	Mecanizado convencional	0.5
15MicroPiston	Micropistón compuerta CDUK16-15T-XC34	2	NA	Comercial	NA
16JointBody1	Articulación cuerpo 1	4	Cilindro acero 1020 Ø 1/2" x 20 mm	Mecanizado convencional	2
17JointBody2	Articulación cuerpo 2	4	Cilindro acero 1020 Ø 1/2" x 20 mm	Mecanizado convencional	2
18JointBody3	Articulación cuerpo 3	4	Cilindro acero 1020 Ø 1/2" x 20 mm	Mecanizado convencional	2
19JointBody4	Articulación pasador	8	Cilindro acero 1020 Ø 1/4" in x 20 mm	Mecanizado convencional	2
20JointScrews	Tornillo cabeza plana superior a 1/4 in	4	NA	Comercial	NA
21BendingPiston	Pistón CD82N10-50-B	3	NA	Comercial	NA
22PistonHolder1	Pieza para sujetar el pistón 1	1	Bloque aluminio 30mmx30mmx30 mm	Mecanizado convencional	1
23PistonHolder2	Pieza para sujetar el pistón 2	1	Bloque aluminio 30mmx30mmx30 mm	Mecanizado convencional	1
24PistonHolder3	Pieza para sujetar el pistón 3	1	Bloque aluminio 30mmx30mmx30 mm	Mecanizado convencional	1
25PistonPost1	Poste para pistón 1	1	Cilindro de aluminio Ø 1/2"x 32 mm	Mecanizado convencional	0.4
26PistonPost1	Poste para pistón 2	2	Cilindro de aluminio Ø 1/2"x 32 mm	Mecanizado convencional	0.8
27AllenScrewM4	Tornillo Allen hexagonal m4 x 30mm	20	NA	Comercial	NA
28SetScrewM4	Tornillo prisionero hexagonal m4 x 30mm	20	NA	Comercial	NA

Se resalta de la Tabla 8, que cuando el proceso de fabricación o modificación es “Mecanizado convencional”, se refiere a procesos como aplanados, ranurados, perfilados y perforado en fresa convencional, y en torno operaciones de taladrado, refrentado, tronzado, entre otros, y otros procesos como corte, machuelado etc. También es menester aclarar que la columna “T (h)” hace referencia al tiempo aproximado de mecanizado para realizar el cuerpo.

MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.

81

Los costos para realizar este módulo, sin tener en cuenta la mano de obra (del diseñador y del mecánico para ensamblar) se presentan en la siguiente Tabla 9, se menciona de nuevo que la hora de mecanizado para la empresa tiene un valor aproximado de 45000 COP.

Tabla 9. Costo de fabricación del módulo de doblado.

Elemento (01BENDIN G)	Link de compra	Qty	Precio USD	precio total COP
Lamina aluminio 1100 5mm	https://tectul.com/es/productos/laminas-de-aluminio-1100	1m x 2m (1/2)	NA	\$751,060.00
Lamina aluminio 1100 1mm	https://tectul.com/es/productos/laminas-de-aluminio-1100	1m x 2m (1/2)	NA	\$169,575.00
Bisagra 5/8"	https://www.mcmaster.com/products/hinges/hinges-2~/surface-mount-hinges-with-holes/overall-width~5-8/	4	1.64	\$27,235.41
Perfil de aluminio T slot 4040	https://www.mcmaster.com/products/t-slots/t-slotted-framing-rail-profile~single/system-of-measurement~metric/rail-height~40-mm/t-slotted-framing-rails-4/	6ft (1)	68.89	\$286,013.37
Placa aluminio 8mm	https://tectul.com/es/productos/laminas-de-aluminio-1100	1.22m x 2.44m (1/10)	NA	\$239,020.00
Placa aluminio 1100 6mm	https://tectul.com/es/productos/laminas-de-aluminio-1100	1.22m x 2.44m (1/10)	NA	\$96,900.00
Pistón SMC CDUK16-15T-XC34	https://www.smc pneumatics.com/CDUK16-15T-XC34.html	2	\$48.64	\$403,881.27
Cilindro acero 1020 Ø1/2"	https://tectul.com/es/productos/barra-de-acero-1020/attached/ac1b2263-7e17-47fb-beec-15cbe0f33194	6 m (1)	NA	\$104,390.00
Cilindro acero 1020 Ø1/4"	https://tectul.com/es/productos/barra-de-acero-1020/attached/ac1b2263-7e17-47fb-beec-15cbe0f33194	6m (1)	NA	\$26,130.00
Cilindro aluminio Ø1/2"	https://tectul.com/es/productos/barra-aluminio-redondo	50 cm (1)	NA	\$9,050.00
Tornillo cabeza plana	https://www.mcmaster.com/products/screws/rounded-head-screws~/18-8-stainless-steel-pan-head-phillips-screws-11/head-diameter~0-270/head-diameter~0-27/	100 (1 paquete)	6.55	\$27,193.90
Pistón SMC CD82N10-50	https://www.smc pneumatics.com/CD85N10-50-B.html	3	30.26	\$376,894.96
Bloque aluminio 1-1/4"	https://tectul.com/es/productos/barra-aluminio-6063-cuadrado	10 cm (1)	NA	\$17,150.00
Tornillo allen hexagonal M4 x 30mm	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-575104498-tornillo-allen-bristol-m4-largo-30mm-x-5unidades- JM	x5 (6)	NA	\$39,000.00
Tornillo prisionero Hexagonal M4	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-871044896-tornillo-prisionero-m4x6mm-x10- JM#polycard_client=search-nordic&position=9&search_layout=grid&type=item&tracking_id=8341bc60-5951-46cf-b4e3-c7b9d0706354	x10 (3)	NA	\$21,000.00
Mecanizado	NA	20 horas	NA	\$900,000.00
TOTAL (01BENDING)				\$3,494,493.90

D. Magazine y sistema de alimentación.

Se requiere mantener en posición una etiqueta para que sea recolectada por el sistema de desplazamiento. Para esto se utiliza un sistema de tornillo y tuerca accionado por un motor paso a paso, anclado a la tuerca estará una placa de aluminio la sobre la cual estarán reposando las etiquetas, el tornillo seleccionado es un tornillo de bola CNC de movimiento lineal T10 con longitud de tuerca de latón 100-600 de 150 mm de longitud. El precio de este es de 25.99 USD . El motor paso a paso seleccionado es el motor Nema 17 del YEJMKJ de 70 Ncm, con paso de 1.8 grados de 20.98 USD. La idea es que con un sensor óptico se detecte cuando no hay etiquetas en la altura adecuada para su recolección, cuando no haya, el motor realizará determinados pasos para desplazar la plataforma y que de esta manera haya etiquetas. Este sistema debe contar con un sensor magnético cuando una pieza pequeña de material ferromagnético está en la que la placa está en la parte más superior, justo cuando no hay etiquetas. Se requiere que las etiquetas estén siempre en la misma posición para desplazarse después, se logra con 4 postes ensamblado a la placa móvil sujeta a la tuerca, garantizando que, cuando se realimente el magazín, el paquete d etiquetas quede en la posición requerida. El motor paso a paso debe sujetarse a la estructura de la máquina con perfilería y su placa de sujeción, también se sujetará el eje del tornillo en dos puntos, en la mesa principal y otro en la estructura de la máquina. Se utilizará tornilla M3 y M5 de diferentes longitudes. Los rodamientos para usar son rodamientos de bolas de diámetro interno de ¼ pulg nominal. El sistema de alimentación o magazín se enseña en la Fig. 43.

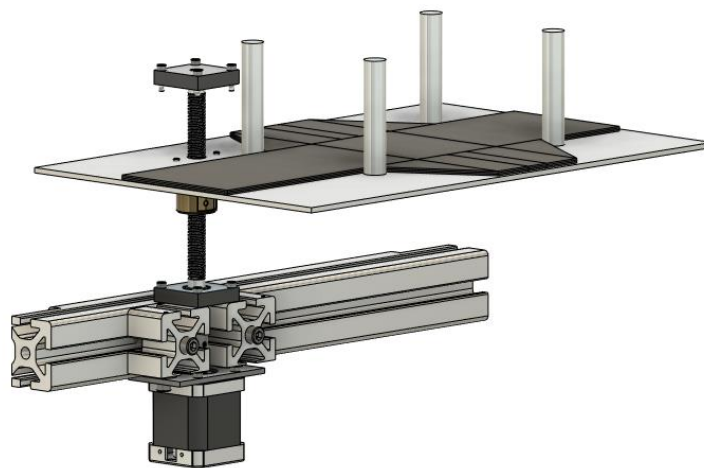


Fig. 43. Módulo de alimentación de etiquetas del diseño.

A continuación, se presenta una lista detallada de los elementos mecánicos necesarios para el diseño de este subproceso:

Tabla 10. Elementos mecánicos módulo de magazín o alimentación.

Elem (02Magazine)	Descripción	Qty	Material base	Fabricación/modificación	T (h)
01MagazinePost	Postes posición etiqueta	4	Cilindro aluminio Ø 1/4" in x 65 mm	Perforado y machuelado	1
02MagazinePlateScrew	Placa Aluminio	2	Placa de aluminio 8 mm 34 mm x 34 mm	Mecanizado convencional	2
03MagazineCoupling	Acople motor con tornillo	1	Cilindro aluminio Ø 1/4" in x 18 mm	Perforado y machuelado	0.5
04MagazineMotor	Motor Paso a paso Nema 17 YEJMKJ	1	NA	Comercial	NA
05NutAndScrew	Tornillo T10 y tuerca 150 mm	1	NA	Comercial	NA
06MagazineMoving Plate	Lámina Aluminio para etiquetas	1	Placa aluminio 3 mm 330 mm x 215 mm	Mecanizado convencional	1
07BallBearingR4	Rodamiento R4	2	NA	Comercial	NA
08MotorPlate	Placa Aluminio	1	Placa de aluminio 3 mm 40 mm x 70mm	Mecanizado convencional	0.5
09MagazineHolder	Perfil T slot 4040 27mm	2	NA	Refrentado y taladrado	0.2
10MagazineProfile	Perfil T slot 4040 360 mm	1	NA	Refrentado y taladrado	0.2
11M6Screw	Tornillo Allen Hexagonal M6 x 1 x 40	2	NA	Comercial	NA
12M3Screw	Tornillo Allen Hexagonal M3 x 0.5 x 12	12	NA	Comercial	NA
13M5Screw	Tornillo Allen Hexagonal M5 x 0.8 x 16	2	NA	Comercial	NA

Los costos relacionados al proceso de fabricación del subsistema de alimentación se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Costo módulo de magazín o alimentación.

Elem (02MAGAZINE)	link	Qty	Precio USD	Precio total COP
Cilindro aluminio Ø 1/2" x10cm	https://tectul.com/es/productos/barra-aluminio-redondo	1	NA	\$1.810,00
Placa aluminio 1100 8mm	https://tectul.com/es/productos/laminas-de-aluminio-1100	1,22m x 2,44m (1/20)	NA	\$119.510,00

MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.

84

Motor NEMA 17 YEJMKJ	https://www.amazon.com/bipolar-99-12oz-conector-impresora-bricolaje/dp/B0CX9FGW8C/ref=sr_1_2_sspa?_mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&sr=8-2-spons&sp_csd=d2lkZ2V0TmFtZT1zeF9hdGY&psc=1	1	20,98	\$87.103,51
Tornillo T10 y tuerca 150 mm	https://www.amazon.com/-/es/Tornillo-movimiento-lineal-longitud-100-600/dp/B0CVV6S167	1	25,99	\$107.903,72
Lámina de aluminio 1100 3mm	https://tectul.com/es/productos/laminas-de-aluminio-1100	1.22m x 2.44m (1/3)	NA	\$230.916,67
Rodamiento R4	https://www.amazon.com/-/es/Rodamientos-R4-R6-R12/dp/B0872NCZ1X	2	12,6	\$10.462,38
Pérfil aluminio T slot 4040 1.5ft	https://www.mcmaster.com/products/t-slots/t-slotted-framing-rail-profile~single/system-of-measurement~metric/rail-height~40-mm/t-slotted-framing-rails-4/	1	20,8	\$86.356,19
Allen Hex M6x1x40 pack x10	https://www.mcmaster.com/products/screws/socket-head-screws~/system-of-measurement~metric/thread-size~m6/length~40-mm/	1	5,86	\$24.329,20
Allen Hex M3x0.3x12 pack x50	https://www.mcmaster.com/products/screws/socket-head-screws~/system-of-measurement~metric/thread-size~m3/length~12-mm/	1	8,93	\$37.075,04
Allen Hex M5x0.8x16 pack x50	https://www.mcmaster.com/products/screws/socket-head-screws~/system-of-measurement~metric/thread-size~m5/length~16-mm/	1	11,03	\$45.793,69
Mecanizado	NA	20 horas	NA	\$243.000,00
TOTAL (02MAGAZINE)				\$994.260,40

E. Subsistema de desplazamiento (header).

Este sistema consta de un actuador lineal FUYU FPB60 de 500mm de carrera, el cual estará sujetado a la estructura de la máquina, con un ayuda de placas de placas y perfilera, ensamblado al carro del FUYU se tiene un sistema de perfiles y pistones posicionados verticalmente, estos pistones tienen un el extremo de su vástago un sistema de placas con ventosas para lograr succionar, además estas placas tienen los orificios para posicionar conductos por los cuales fluirá pegamento cuando se requiera. La distancia entre dos pistones consecutivos es de 258.5 mm, esta distancia se buscó que fuese lo menor posible para mejor optimización del espacio y está determinada por el ancho de la etiqueta. A continuación, se presenta este sistema en la Fig. 44.

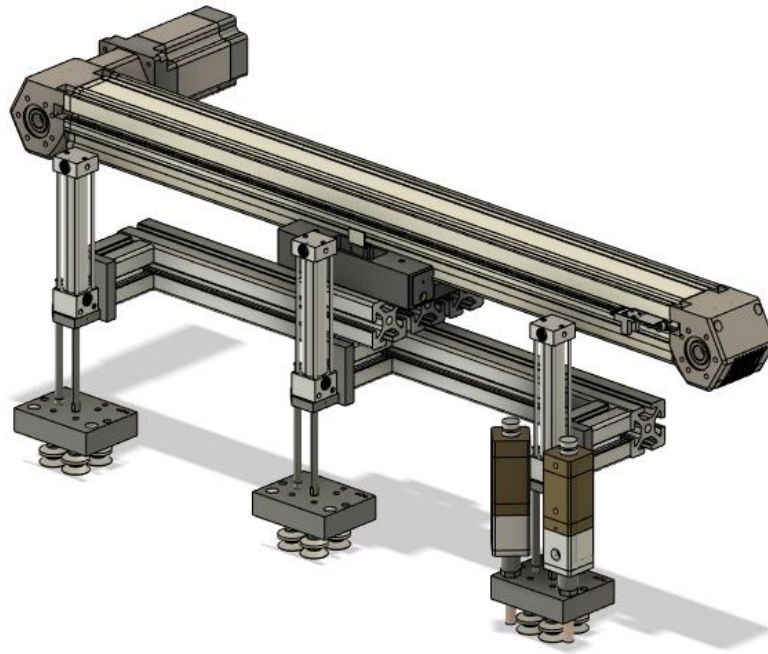


Fig. 44. Módulo de desplazamiento de etiquetas del diseño.

Este sistema permite realizar procesos en paralelo y no necesariamente secuencial, mientras que el pistón, más a la derecha (mirando la máquina de forma frontal, según la figura) se extiende para succión la etiqueta del magazín, a la vez el pistón central puede estar desplazándose para aplicar pegamento a la etiqueta que está en la zona de doblado y el final de la izquierda puede estar desplazándose para aplicar presión sobre un caballete, y luego realizar, si se succiona al mismo tiempo en el sistema de succión. Todas las placas tendrán los agujeros y roscado pertinentes para instalar los cabezales o pistolas que dispensan el material.

Respecto al movimiento del actuador lineal este tendrá dos posiciones como se puede observar en la Fig. 45.

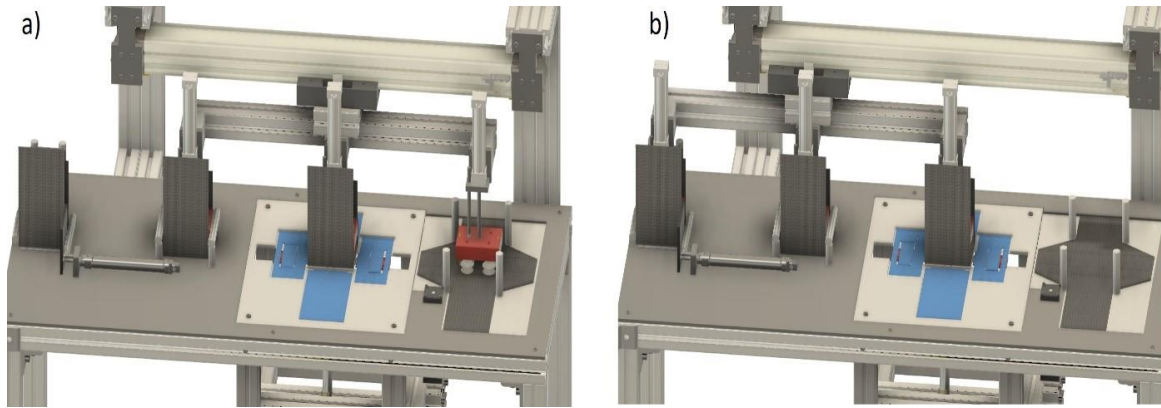


Fig. 45. a) Posición 1 del sistema de desplazamiento, b) Posición 2 del sistema de desplazamiento.

Cada pistón tendrá la libertad de desplazarse en cualquier momento, lo cual permitirá mayor control sobre el proceso. Posteriormente se hará énfasis en la programación y control de estos actuadores.

A continuación, se enseña un listado con los elementos mecánicos del subsistema de desplazamiento.

Tabla 12. Elementos mecánicos módulo de desplazamiento.

Elem (03Displacement)	Descripción	Qty	Material base	Fabricación/modificación	T (h)
01FuyuSlider	Corredera FUYU de 500 mm	1	NA	Comercial	NA
02Piston	Pistón de 3" de carrera y diámetro 3/4"	3	NA	Comercial	NA
03PER_HorizontalHolder1	Perfil de aluminio T slot 4040-80 mm	3	NA	Refrentado y perforado	0.5
04PER_HorizontalHolder2	Perfil de aluminio T slot 4040-57 mm	1	NA	Refrentado y perforado	0.3
05PER_HorizontalHolder3	Perfil de aluminio T slot 4040-45 mm	3	NA	Refrentado y perforado	0.5
06PistonHolderPlate1	Placa 1 sujetador de pistón	3	Bloque aluminio 10 mm 40mm x50mm	Mecanizado convencional	1
07PistonHolderPlate2	Placa 2 sujetador de pistón	3	Bloque aluminio 8 mm 30mm x36mm	Mecanizado convencional	1
08PistonGuide	Guía cilíndrica para pistón	1	Cilindro aluminio Ø 1/4" x 103 mm	Roscado	0.5
09SuckersHolders	Placa 1 sujetador de pistón	3	Bloque aluminio 20 mm 40mm x50mm	Mecanizado convencional	2
10Sucker	Ventosa de 0.89 de diámetro	12	NA	Comercial	NA
11M4Screw	Tornillo Allen Hexagonal M4 x 0.7 x 30	10	NA	Comercial	NA
12M5Screw	Tornillo Allen Hexagonal M5 x 0.8 x 16	2	NA	Comercial	NA

A continuación, se presenta los precios de los elementos necesarios para llevar a cabo el módulo de desplazamiento.

Tabla 13. Costos módulo de desplazamiento.

Elem (04Displacement)	link	Qty	Precio USD	precio total COP
FUYU FPB60 de 500mm	https://www.amazon.com/-/es/lineal-transmisi%C3%B3n-correa-carrera-3-937-137-795/dp/B0CCV6NFD9	1	338.84	\$1,406,775.58
Piston 3" stroke, 3/4" bore	https://www.mcmaster.com/catalog/130/1271/6453K116	3	168.09	\$2,093,597.93
Perfil de aluminio T slot 4040	https://www.mcmaster.com/products/t-slots/t-slotted-framing-rail-profile~single/system-of-measurement~metric/rail-height~40-mm/t-slotted-framing-rails-4/	10ft (4)	111.56	\$1,852,672.46
Bloque aluminio 1-1/4"	https://tectul.com/es/productos/barra-aluminio-6063-cuadrado	20 cm (1)	NA	\$34,300.00
Placa aluminio 1100 8mm	https://tectul.com/es/productos/laminas-de-aluminio-1100	1.22m x 2.44m (1/10)	NA	\$239,020.00
Cilindro acero 1020 Ø1/4"	https://tectul.com/es/productos/barra-de-acero-1020/attached/ac1b2263-7e17-47fb-beec-15cbe0f33194	6m (1)	NA	\$26,130.00
Allen Hexagonal M4 x 0.7 x 30	https://www.amazon.com/-/es/Tornillos-tornillos-hexagonales-cil%C3%ADndrica-hexagonales/dp/B0CSG7F6HZ	50	21.3	\$88,432.06
Allen Hex M5x0.8x16 pack x50	https://www.mcmaster.com/products/screws/socket-head-screws~system-of-measurement~metric/thread-size~m5/length~16-mm/	1	11.03	\$45,793.69
Mecanizado	NA	5.8 horas	NA	\$261,000.00
Placa aluminio 1100 8mm	https://tectul.com/es/productos/laminas-de-aluminio-1100	1.22m x 2.44m (1/10)	NA	\$239,020.00
TOTAL (04Displacement)				\$6,286,741.72

F. Módulo de secado.

El módulo de secado consiste en simplemente en dos estaciones donde se mantendrá la forma de la etiqueta mientras el pegamento realiza el proceso de unión, se selecciona como pegamento el hot melt EVA (Etileno-vinilacetato), el cual tiene un tiempo de secado que está entre 5 y 15 segundos, por lo que el tiempo que debe estar la etiqueta en este módulo debe estar dentro de este rango; Se supondrá que el tiempo máximo de secado será de 10 segundos, para posteriores consideraciones. Básicamente el módulo de desplazamiento se encarga de llevar las etiquetas en a ambas estaciones de secado, llamaremos estación de secado la estación más a la derecha viendo a la máquina frontalmente y el de más a la izquierda estación 2. Cuando la etiqueta que se encuentre

en la estación 2 de secado el suficiente tiempo, esta es empujada con una corriente de aire desde las toberas y al tener una pequeña pieza impresa en 3D que pivotea la etiqueta esta rotará, una vez esta rote, una placa impresa también en 3D, la cual es accionado por el pistón CD85N10-100-B de doble efecto empujará la etiqueta pegada al módulo de plastiflechado.

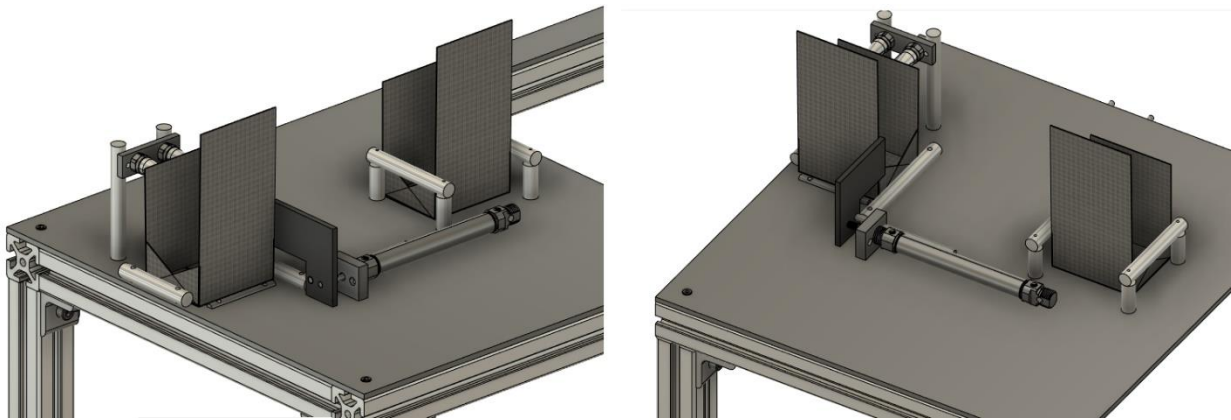


Fig. 46. Sistema de secado del diseño.

A continuación, se enseña detalladamente el listado de los cuerpos necesario para llevar a cabo este sistema.

Tabla 14. Elementos mecánicos módulo de secado.

Elem (03Drying)	Descripción	Qty	Material base	Fabricación/modificación	T (h)
01DryingPost1	Poste 1 estación 1	2	Cilindro aluminio Ø 1/2" x 100 mm	Perforado y machuelado	0.5
02DryingPost2	Poste 2 estación 1	4	Cilindro aluminio Ø 1/2" x 30 mm	Perforado y machuelado	1
03DryingPost3	Poste 1 estación 2	2	Cilindro aluminio Ø 1/2" x 120 mm	Perforado y machuelado	0.5
04DryingPost4	Poste 2 estación 2	2	Cilindro aluminio Ø 1/2" x 102 mm	Perforado y machuelado	0.4
05DryingPlate1	Placa 1 estación 2	1	Bloque aluminio 10 mm 35mmx30mm	Mecanizado convencional	0.7
06DryingPistonGuide	Guía cilíndrico para pistón	1	Cilindro aluminio Ø 1/4" x 106 mm	Roscado	0.5
07PistonMovablePlate	Placa de PLA para mover etiqueta	1	Filamento PLA	Impresión 3D	1
08HalfPLAAxis	Medio eje de PLA para "tumbar" etiqueta	1	Filamento PLA	Impresión 3D	0.5

MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.

89

09DryingPlate2	Placa 2 estación 2	1	Placa de aluminio 6 mm 63mm x 20mm	Mecanizado convencional	0.5
10FlowNozzle	Tobera 9/16" rosca 1/8"	2	NA	Comercial	NA
11DryingPiston	Pistón SMC CD85N10-100-B	1	NA	Comercial	NA
12M5Screw	Tornillo Allen Hexagonal M5 x 0.8 x 16	16	NA	Comercial	NA

Los costos asociados a los elementos de la Tabla 14, sea por su fabricación o directamente por su compra se enseña en la Tabla 15.

Tabla 15. Costo elementos mecánicos módulo de secado.

Elem (03Drying)	Link de compra	Qty	Precio USD	precio total COP
Cilindro acero 1020 Ø1/2"	https://tectul.com/es/productos/barra-de-acero-1020/attached/ac1b2263-7e17-47fb-beec-15cbe0f33194	6 m (1)	NA	\$104,390.00
Bloque aluminio 1-1/4"	https://tectul.com/es/productos/barra-aluminio-6063-cuadrado	10 cm (1)	NA	\$17,150.00
Filamento PLA	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-503287603-filamento-pla-175mm-impresion-3d-JM?searchVariation=variationID#polycard_client=search-nordic&searchVariation=73182016991&position=20&search_layo ut=stack&type=item&tracking_id=1bd1a057-d15f-4702-814d-a6cd4c1e3ad1	(1/10)	NA	\$8,000.00
Placa aluminio 1100 6mm	https://tectul.com/es/productos/laminas-de-aluminio-1100	1.22m x 2.44m (1/10)	NA	\$96,900.00
Pistón SMC CD85N10-100-B	https://www.smc Pneumatics.com/CD85N10-100-B.html	1	32.21	\$133,727.55
Tobera 9/16" rosca 1/8"	https://www.mcmaster.com/catalog/130/3119/8451K33	2	32.2	\$267,372.06
Allen Hex M5x0.8x16 pack x50	https://www.mcmaster.com/products/screws/socket-head-screws~/system-of-measurement~metric/thread-size~m5/length~16-mm/	1	11.03	\$45,793.69
Mecanizado	NA	4.1 horas	NA	\$184,500.00
TOTAL (03Drying)				\$857,833.29

G. Análisis estructural del sistema de la máquina.

Como se ha podido observar, la máquina para el doblaje y realizar los procesos de acabados del paquete de medias con la etiqueta como caballete, no es una máquina robusta, en el sentido de que tiene que hacer algún trabajo pesado, no soporta demasiado peso ni tiene alguna transmisión de potencia que pueda generar esfuerzos elevados, por lo que las piezas, placas y perfiles de

aluminio deben soportar con suficiencia los esfuerzos generados, principalmente por el peso, incluyendo las piezas que serán hechas en el aluminio 1100.

Para asegurar la anterior afirmación se analizará mediante un software de elementos finitos, se tiene dos opciones, usar Fusion o Ansys con licencia educativa de la Universidad de Antioquia. En este caso se opta por usar Ansys puesto a pesar de que se trata de un análisis sencillo se tiene mejor calidad de mallado, y en los resultados, puesto que es un software dedicado solamente a estas labores, además de tener mucho más recursos y soporte.

El análisis se realizará sobre los perfiles de aluminio, es decir sobre la estructura de la máquina, la zona que soportará los mayores esfuerzos serán los perfiles que se encargan de soportar el header o sistema de desplazamiento, puesto que este queda en voladizo y debido al peso de estos perfiles, de la corredera FUYU, de los pistones, cabezales y placas se puede generar esfuerzos cortantes considerables. La corredera FUYU soporta una carga máxima de 30kg.

Inicialmente se debe conocer el material del cual está hecho los perfiles seleccionados, esto es la aleación de aluminio 6560 el cual tiene propiedades similares al aluminio 6061. Este aluminio tiene resistencia a la corrosión debido al agua, tiene buena resistencia mecánica y es relativamente poco denso respecto a los aceros, buen conductor de calor y de electricidad.

Entrando más en detalle, en la Fig. 47 se puede observar el gráfico Ashby del 6560, cual muestra que el aluminio 6560-T6 se posiciona favorablemente en la región de los metales, con una densidad entre 2.7 y 3 g/cm³ y un módulo elástico de aproximadamente 70 GPa. Comparado con otros materiales, este aluminio tiene una mayor densidad y módulo elástico que los polímeros, pero menor módulo elástico que las cerámicas. Su ubicación cerca de las líneas de diseño de masa mínima sugiere que es ideal para aplicaciones que requieren una buena relación rigidez-peso, como en la industria aeroespacial y automotriz.

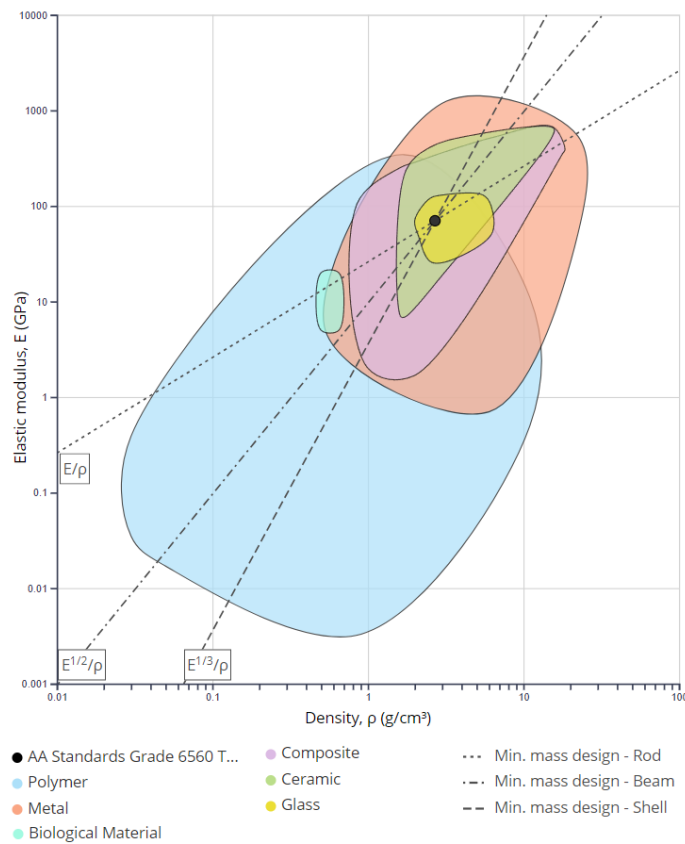


Fig. 47. Gráfico de Ashby del 6560.

Nota. Fuente <https://matmatch.com/materials/alky16560350t60-aa-standards-grade-6560-t6>.

Las propiedades de la aleación de aluminio 6560 se presenta en la Fig. 48, rectificando la información presentada en el gráfico de Ashby. Con una resistencia a la tracción de 270 MPa, la aleación de aluminio 6560-T6 presenta una resistencia moderada en comparación con el acero teniendo en cuenta su densidad, que normalmente para aceros comunes (1020 y A36) está entre 350 y 550 MPa, pero con una densidad de 7850 kg/m^3 . Esta aleación tiene un módulo elástico de 70 GPa, característico de las series 6000 de aluminio forjado, proporcionando una buena rigidez relativa a su peso. La tenacidad a la fractura en plano de deformación varía entre 22 y 35 $\text{MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$, lo que indica una resistencia razonable a la propagación de grietas bajo carga. El módulo de corte está entre 26 y 26.5 GPa y el coeficiente de Poisson es de 0.33, ambos típicos para esta serie de aluminio. La conductividad térmica varía entre 170 y 220 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, mientras que su capacidad calorífica específica oscila entre 887 y 963 $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. Además, el aluminio 6560-T6 tiene una

excelente trabajabilidad, haciéndolo adecuado para procesos de fabricación que requieren conformado y mecanizado eficiente. En la Fig. 48 se presentan las propiedades mecánicas más relevante de la aleación 6560 de aluminio.

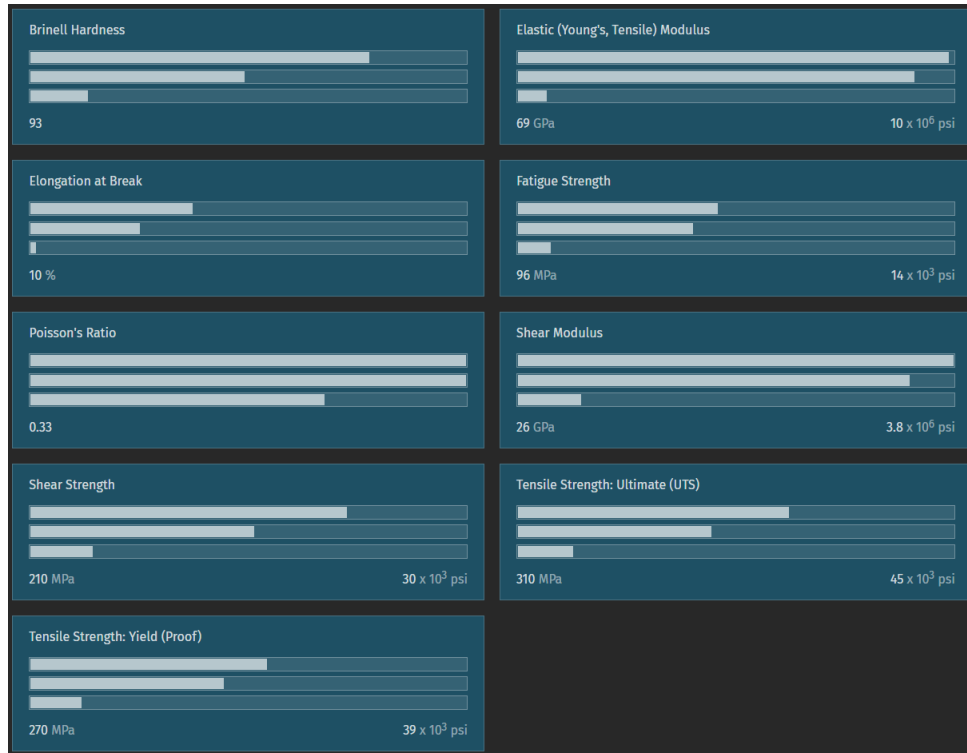


Fig. 48. Propiedades mecánicas de la aleación 6560 de aluminio.

Nota. Fuente <https://www.makeitfrom.com/material-properties/6061-T6-Aluminum>.

En cuanto al material que se seleccionará en Ansys para realizar el análisis estructural será “Aluminum alloy” el cuál tiene unas propiedades mecánicas preestablecidas casi idénticas a la aleación 6560 de aluminio con tratamiento térmico T6. Esto se puede observar en la Fig. 49. Lo anterior era de esperar puesto que, la aleación de trabajo tiene propiedades muy similares al resto de aleaciones de aluminio de la serie 6000. Particularmente el tratamiento térmico “T6” consiste en varias etapas: Solución térmica normalmente, entre los 500 y 540 °C, luego se le realiza temple y posteriormente se somete a un proceso de envejecido con una temperatura entre 150 y 200°C. Este tratamiento térmico es muy común en la aleación 6061.

The image shows two screenshots from the Ansys software interface. The top screenshot displays the 'Outline of General Materials' table, and the bottom screenshot displays the 'Properties of Outline Row 4: Aluminum Alloy' table.

Outline of General Materials					
	A	B	C	D	E
1	Contents of General Materials	Add	Source		Description
2	Material				
3	Air			Ger	General properties for air.
4	Aluminum Alloy			Ger	General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.
5	Concrete			Ger	
6	Copper Alloy			Ger	
7	FR-4			Ger	Sample FR-4 material, data is averaged from various sources and meant for illustrative purposes. It is assumed that the material x direction is the length-wise (LW), or warp yarn direction, while the material y direction is the cross-wise (CW), or fill yarn direction.
8	Gray Cast Iron			Ger	
9	Magnesium Alloy			Ger	Sample FR-4 material, data is averaged from various sources and meant for illustrative purposes. It is assumed that the material x direction is the length-wise (LW), or warp yarn direction, while the material y direction is the cross-wise (CW), or fill yarn direction.
10	Polyethylene			Ger	

Properties of Outline Row 4: Aluminum Alloy			
	A	B	C
	Property	Value	Unit
1	Property		
2	Density	2770	kg m ⁻³
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
5	Isotropic Elasticity		
6	Derive from	Young's Modulus and Poisson's...	
7	Young's Modulus	7.1E+10	Pa
8	Poisson's Ratio	0.33	
9	Bulk Modulus	6.9608E+10	Pa
10	Shear Modulus	2.6692E+10	Pa
11	S-N Curve	Tabular	
15	Tensile Yield Strength	2.8E+08	Pa
16	Compressive Yield Strength	2.8E+08	Pa
17	Tensile Ultimate Strength	3.1E+08	Pa
18	Compressive Ultimate Strength	0	Pa

Fig. 49. Propiedades mecánicas del material aleación de aluminio en Ansys.

Como se mencionó anteriormente, la corredera soporta un peso máximo de 30 kg, por lo que primero se verificará aproximadamente con ayuda del software Fusion si el peso que está soportando es menor a este valor, luego se procederá a realizar el análisis estructural en Ansys.

En cuanto a los pistones estos de diferentes materiales, al tratarse de un modelo simplificado del pistón este no tiene todas las partes diferidas en partes o cuerpos, por lo que se supondrá que el todo el pistón es del material más denso. Las propiedades del pistón usado se enseñan en la Fig. 50, entre ellas el material.

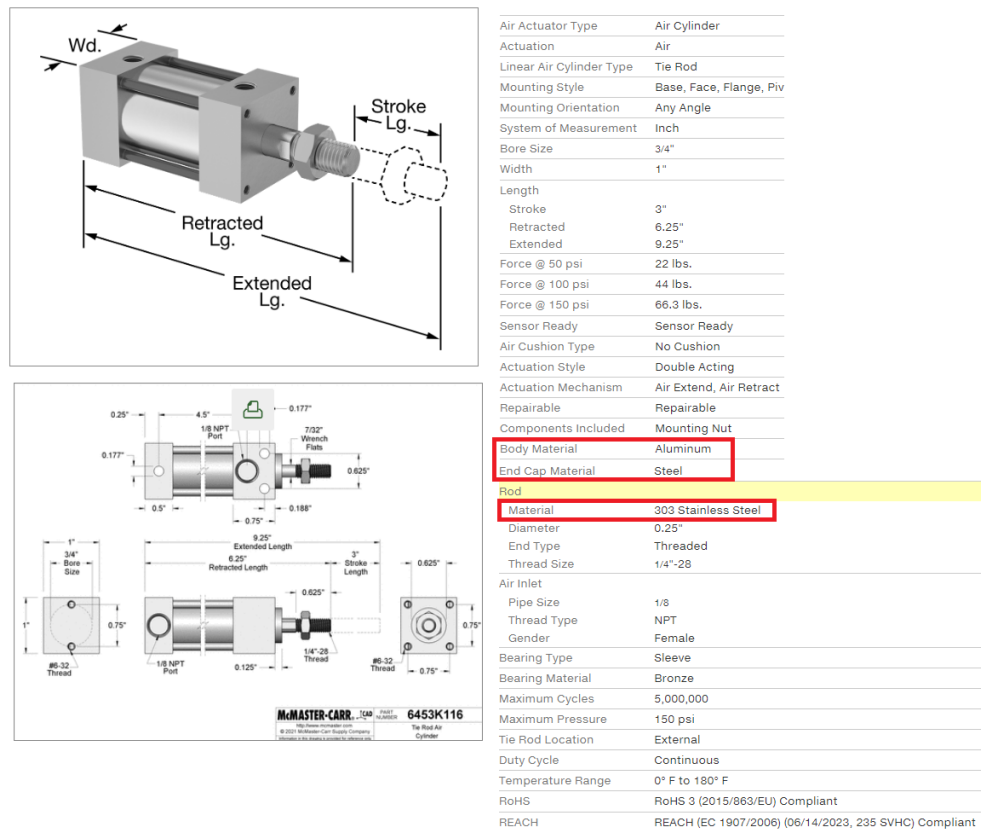


Fig. 50. Propiedades y materiales del pistón del sistema de desplazamiento.

Con la información anterior y con ayuda del software se estima un peso de 0.231 kg para el pistón. Análogamente se estiman los pesos de los otros elementos del header que carga la corredera. Estos pesos se enseñan en la Tabla 16.

Tabla 16. Peso aproximado sobre la corredera FUYU.

Elemento	Cantidad	Peso por unidad [kg]	Peso [kg]
3inPiston	3	0,23	0,693
FuyuMainBeam	1	1,377	1,377
FuyuBeamHolder	3	0,197	0,591
AuxPartBeam	3	0,111	0,333
PistonSupport	3	0,067	0,201
PistonGuide	3	0,011	0,033
PlateSuckers	3	0,683	2,049
GluePistol	4	0,368	1,472
Peso total			6,056

Como se observa, de la Tabla 16, el peso que soportará la corredera es de 6 kg aproximadamente, por lo que se tiene bastante margen por si se desea agregar elementos al header, también se resalta que en el peso se tuvo en cuenta no 2 sino 4 cabezales de pegamento, en este punto se está considerando necesario 2 de estos, pero esto puede cambiar. Posteriormente en el control de la máquina se determinará si se requiere que más de una estación de desplazamiento lleve dispensadores de pegamento.

Rectificado el hecho que la corredera desplazará un peso inferior a 30kg, se procede a realizar el análisis estático asumiendo el caso más extremo, esto es, que en la corredera desplace 30kg. El análisis se realizará sobre la estructura de los perfiles y sobre la placa que une la corredera con la estructura. El diagrama de fuerza aproximado se enseña en la Fig. 51.

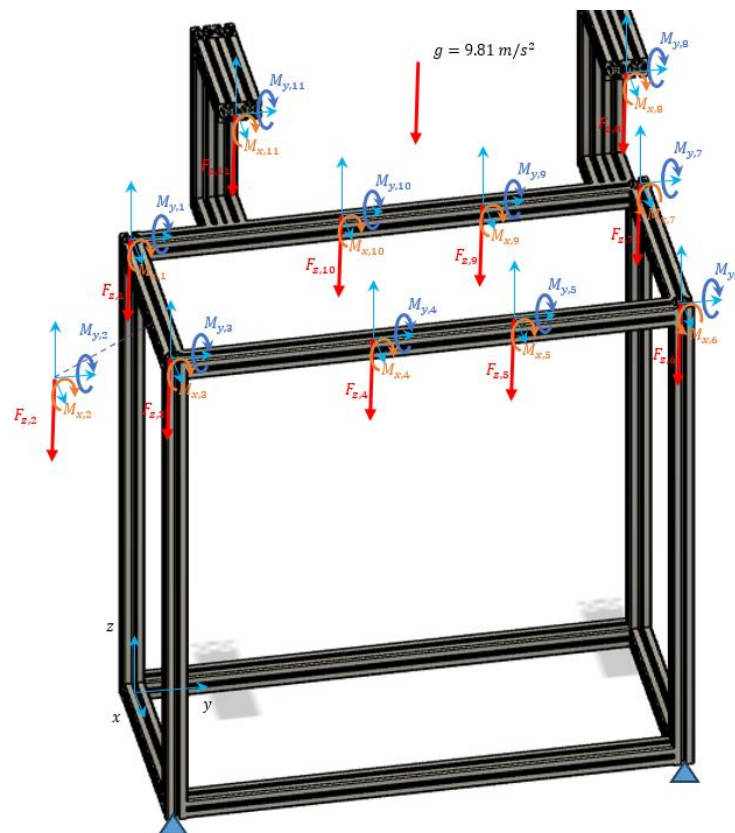


Fig. 51. Figura: Diagrama de fuerzas simplificado.

Como se observa en la figura, se está despreciando el efecto del peso del magazín y del módulo de secado. Se está teniendo en cuenta el peso del módulo de doblado, del módulo de plastiflechado, del módulo de desplazamiento y la corredera y también el peso de la placa principal de la máquina. Si bien, al considerar que el peso de estos elementos son cargas puntuales sobre los agujeros para los tornillos sobre el frame, también se debe considerar los momentos que generan sobre estos agujeros. Como se observa en la Fig. 51 no necesariamente el sentido de los momentos es el correcto y no hace falta determinar esto. Estos momentos se pueden calcular teniendo en cuenta que se puede conocer el centroide de los módulos y elementos considerados, pero no se hace necesario, puesto que, Ansys permite el uso de fuerzas remotas, por lo que se puede especificar el punto donde actúa la fuerza y sobre qué borde, superficie o cuerpo tiene efecto, es decir que automáticamente Ansys tiene en cuenta los momentos generados por la fuerza que actúa sobre determinado punto, sin que este punto esté necesariamente sobre el propio cuerpo. Lo que sí se hace necesario es determinar son los centroides respecto a un sistema de coordenadas para ingresar las fuerzas en estos puntos a Ansys.

Las fuerzas 1,3 6 y 7 hace referencia en los puntos donde se ensambla la placa principal, aunque en realidad esta actúa sobre todas diferentes caras, esto se analizará mejor en Ansys, se está considerando por ahora que esta peso se distribuye como 4 fuerzas puntuales con sus respectivos momentos, la fuerza 2 es la fuerza y los momentos ejercidos por el peso del sistema de plastiflechado, por entendimiento en la figura pareciera que esta fuerza y momentos no están sobre el frame pero realmente sí actúa en dónde se une este sistema al frame. Las fuerzas 4,5,6,10 hacen referencia al peso del módulo de doblado y los momentos generados por este. Las fuerzas 8 y 11 y sus momentos hacen referencia al peso del header y los momentos que genera este, este es el peso máximo que soporta la corredera FUYU más el peso de la propia corredera y su motor.

El origen de coordenadas en el diagrama de fuerzas de la Fig. 51 coincide con el origen de coordenadas en Ansys.

De la Fig. 51 cabe mencionar que se supondrá que la máquina en sus patas será fijada al suelo, por lo que se suponen como soportes fijos.

A continuación, se presenta la posición de los centroides y su respectiva fuerza respecto al origen que se enseña en la Fig. 52.

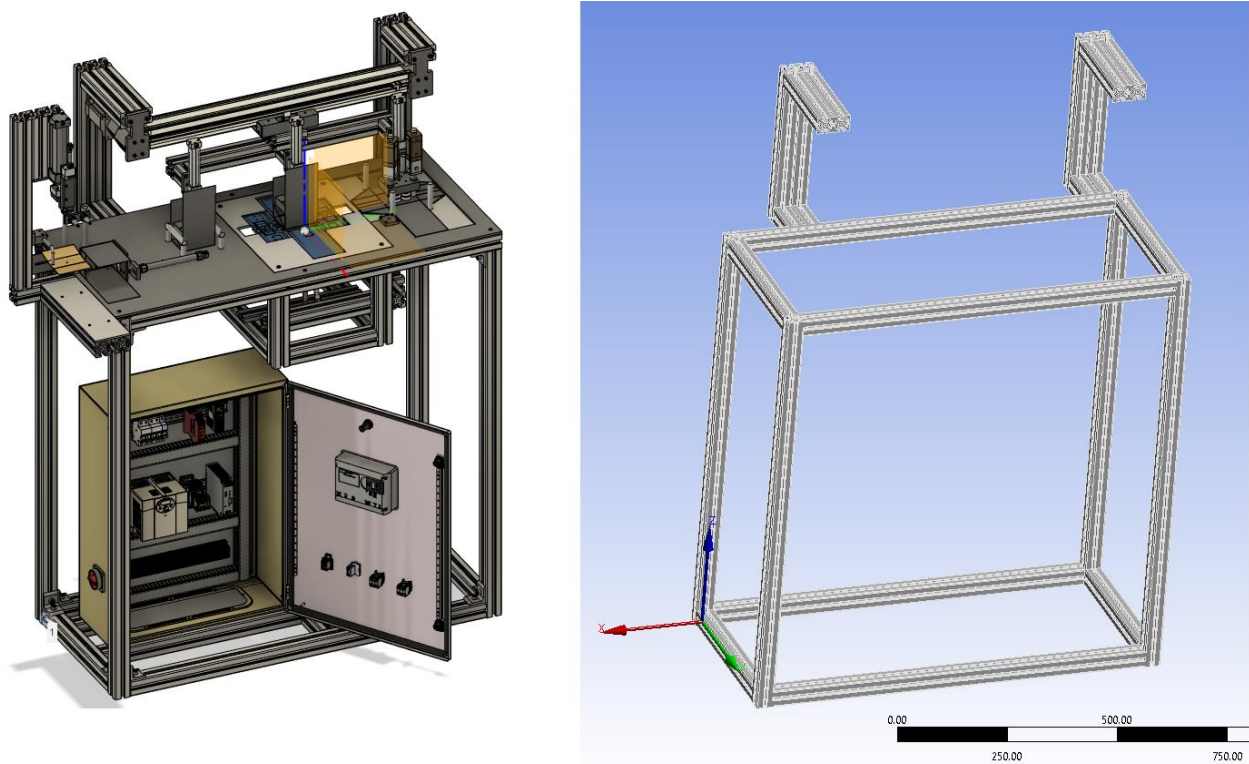


Fig. 52. Máquina de doblaje de etiquetas y su origen en el diseño CAD.

Tabla 17. Peso de algunos módulos y su centroide respecto al sistema de coordenadas de la máquina.

Descripción	Masa [kg]	Fuerza [N]	\bar{x}	\bar{y}	\bar{z}
Peso modulo plastiflechado	14.306	140.34186	31.674	-644.228	143.486
Módulo de doblado	23.294	228.51414	-20	-0.055	-163.725
Placa aluminio	3.452	33.86412	-16	-21	2.5
Peso modulo desplazamiento + FUYU	41.115	403.33815	-139.911	9.078	260.165

Si se conoce el punto donde está el origen del sistema de coordenadas que toma Ansys al importar la geometría, se puede crear (en Ansys) un sistema de coordenadas que coincide justamente con el origen el sistema de coordenadas de la tabla. Este punto es -220 mm, -550.985 mm, -993.00 mm. Con esta información es suficiente para ubicar las fuerzas remotas correctamente.

El análisis estructural se puede realizar desde dos aproximaciones: Usando elementos lineales con una sección transversal constante, lo que facilita considerablemente el mallado, y es computacionalmente mucho más sencillo y rápido. La otra aproximación consiste en mallar toda la estructura (elementos 3D) y compartir topología en los extremos de los perfiles donde se encuentran dos o más cuerpos, lo cual es computacionalmente mucho más pesado que el caso anterior, y debido a la complejidad de la geometría, se tendrá una mala calidad de mallado, por lo que se pueden obtener resultados erróneos debido a defectos de mallado.

Para usar elementos lineales se debe establecer la sección transversal del perfil en el programa de Ansys Desing modeler; como se usan dos perfiles (4040 y 4080) se deben establecer ambos perfiles. En este caso se realiza una versión sin curvaturas de ambos perfiles (ver Fig. 53 y Fig. 54)

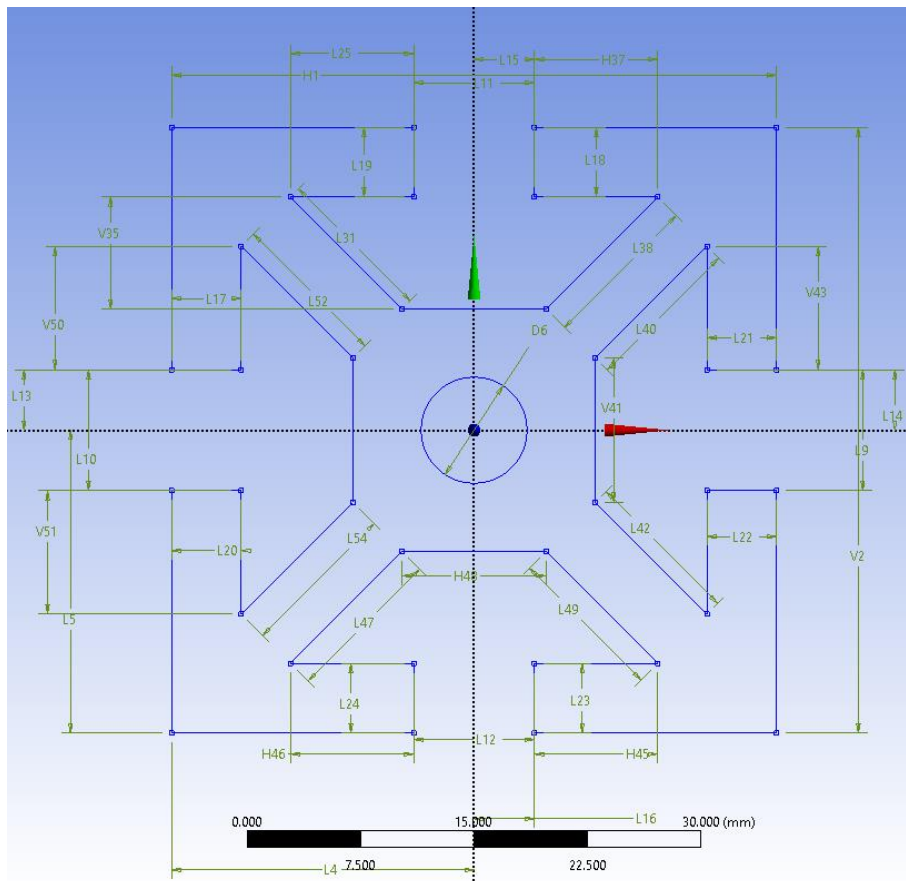


Fig. 53. Perfil 4040 ingresado en Ansys.

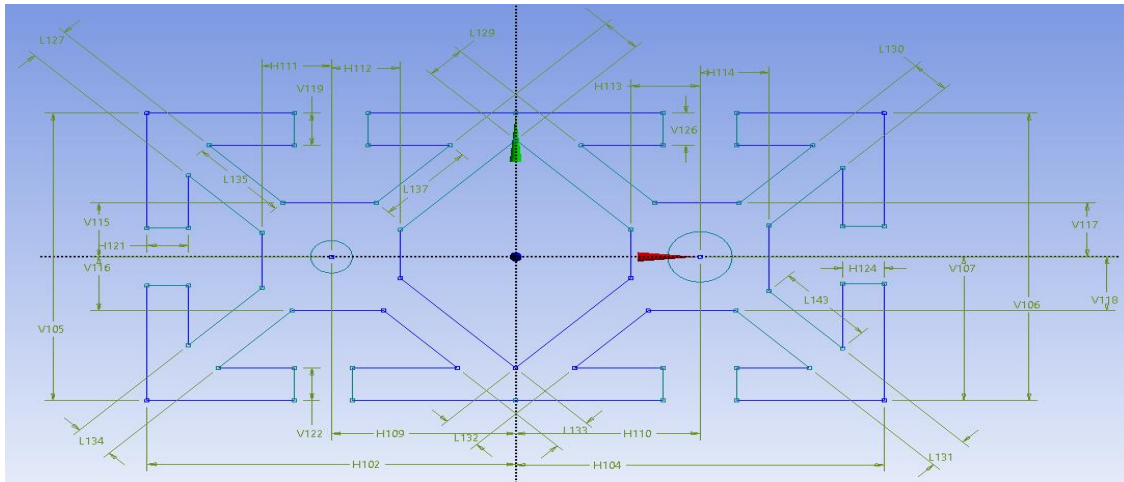


Fig. 54. Perfil 4080 ingresado en Ansys.

Cuando se trata de elementos lineales tipo viga, una forma de crearlos es definir la sección transversal, luego los puntos de intersección de los cuerpos y posteriormente indicar entre qué puntos están los perfiles. Estos puntos se ingresan con un archivo .txt al Desing Modeler. Adicionalmente se pueden ingresar puntos de carga que son puntos que se puede usar después para posicionar las cargas (en este caso, los puntos por ejemplo donde están los agujeros para sujetar los módulos y que soportan la carga del peso de estos).

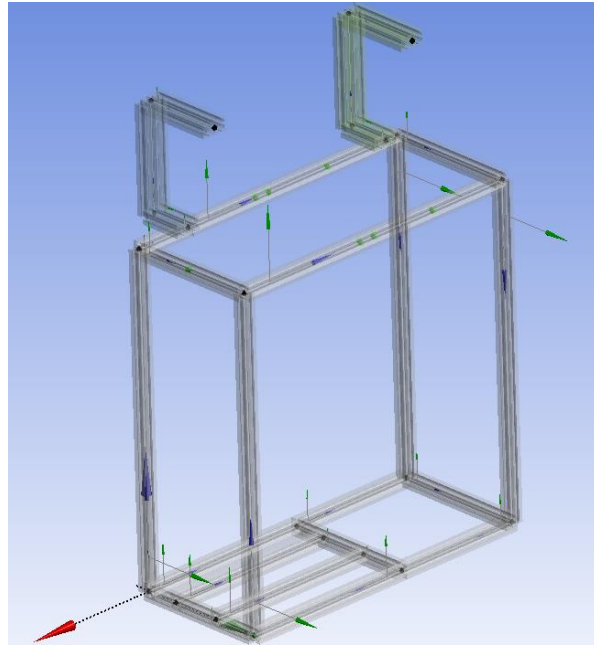


Fig. 55. Frame a partir de puntos creado en Desing Modeler.

Debido a que se trata de elementos lineales, la calidad de mallado es muy optima (tamaño de elemento de 5 mm) como se observa en la figura

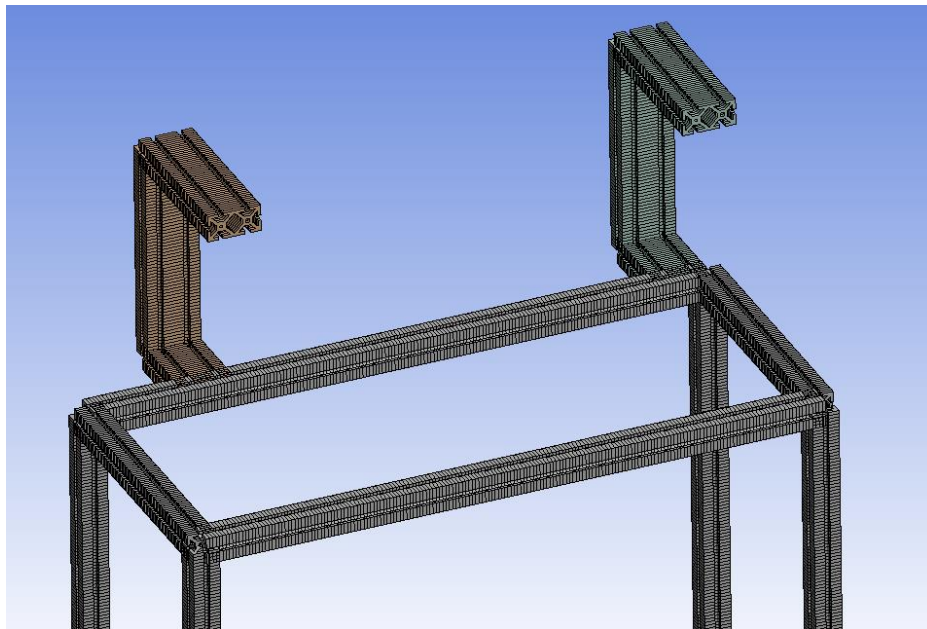


Fig. 56. Mallado de la estructura de la máquina usando elementos lineales.

Ahora se procede a plantear el posicionamiento de las cargas respecto al sistema de coordenadas de la máquina (que fue establecido en Ansys), la magnitud y dirección de las fuerzas y sobre qué puntos actúan. También se configuran los soportes en las patas. De esta forma queda determinado un sistema de ecuaciones solucionable. En la Fig. 57 se observa de mejor manera lo mencionado anteriormente.

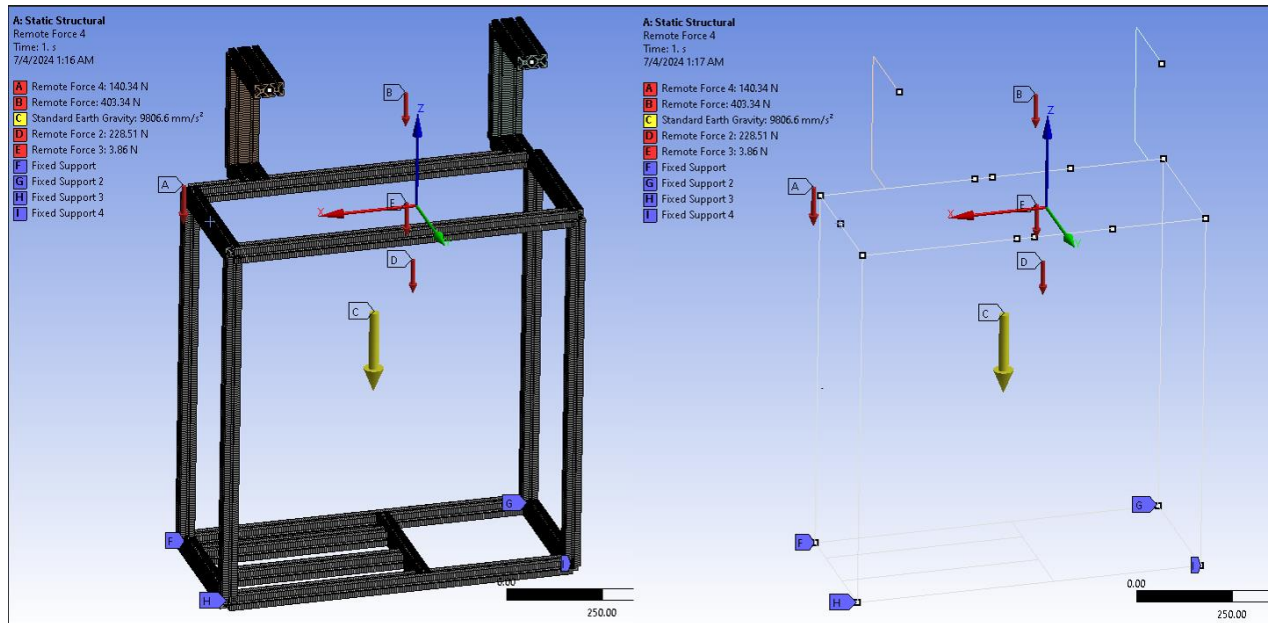


Fig. 57. Fuerzas remotas y su posición respecto al sistema de coordenadas de la máquina.

Una vez solucionado el problema se tiene los siguientes resultados: Una deformación máxima de 0.93 mm en la zona extrema de los perfiles 4080 que sostienen al header (ver figura). Esta deformación no se considera apreciable y no afectará la integridad de la máquina ni será algún problema a la hora de automatizar

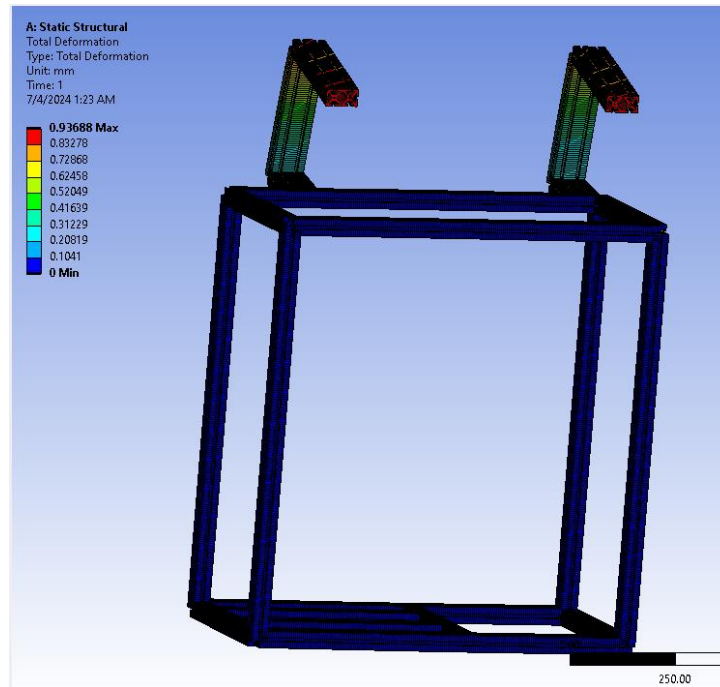


Fig. 58. Figura: Desplazamientos en el frame de la máquina.

El "maximum bending stress" o máximo esfuerzo de flexión es una medida clave que indica la mayor tensión interna que una estructura experimenta debido a las fuerzas que intentan doblarla. En el análisis de elementos finitos (FEA) realizado en ANSYS, entonces la estructura de la máquina presenta un máximo esfuerzo de flexión de 3.75 MPa. Este valor indica que el punto más críticamente estresado de la estructura está sometido a una tensión interna de 3.75 MPa debido a la flexión. Este valor debe compararse con el límite elástico del material utilizado. En el caso de una aleación de aluminio 6560 con tratamiento térmico T6, que tiene un límite elástico de aproximadamente 275 MPa, el factor de seguridad calculado es de alrededor de 73.3. Este alto factor de seguridad sugiere que la estructura es extremadamente segura frente a la flexión y puede soportar cargas significativamente mayores antes de alcanzar el límite elástico del material.

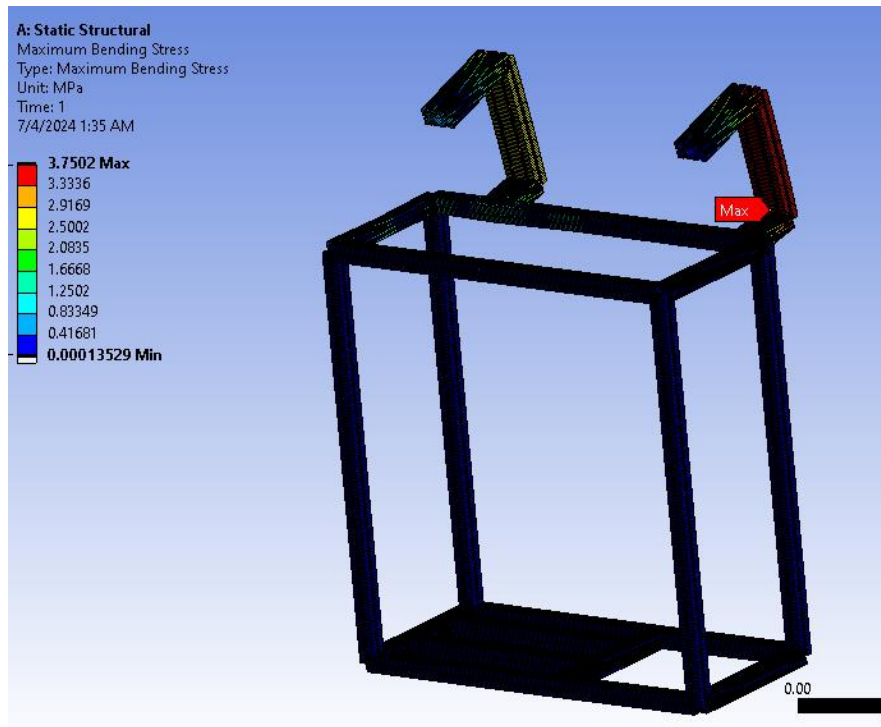


Fig. 59. Esfuerzos de flexión en la estructura de la máquina.

El "maximum combined stress" o máximo esfuerzo combinado es una medida crucial que indica la mayor tensión interna que una estructura o elemento experimenta debido a la combinación de diferentes tipos de cargas simultáneamente, como esfuerzos de tracción, compresión, corte y flexión. Como se observa de la Fig. 60 que la estructura de la máquina presenta un máximo esfuerzo combinado de 3.676 MPa debido a la combinación de las cargas actuantes. En el límite elástico de aproximadamente 275 MPa, el factor de seguridad calculado es de alrededor de 74.8. Este alto factor de seguridad sugiere que la estructura es extremadamente segura frente a la combinación de diferentes esfuerzos.

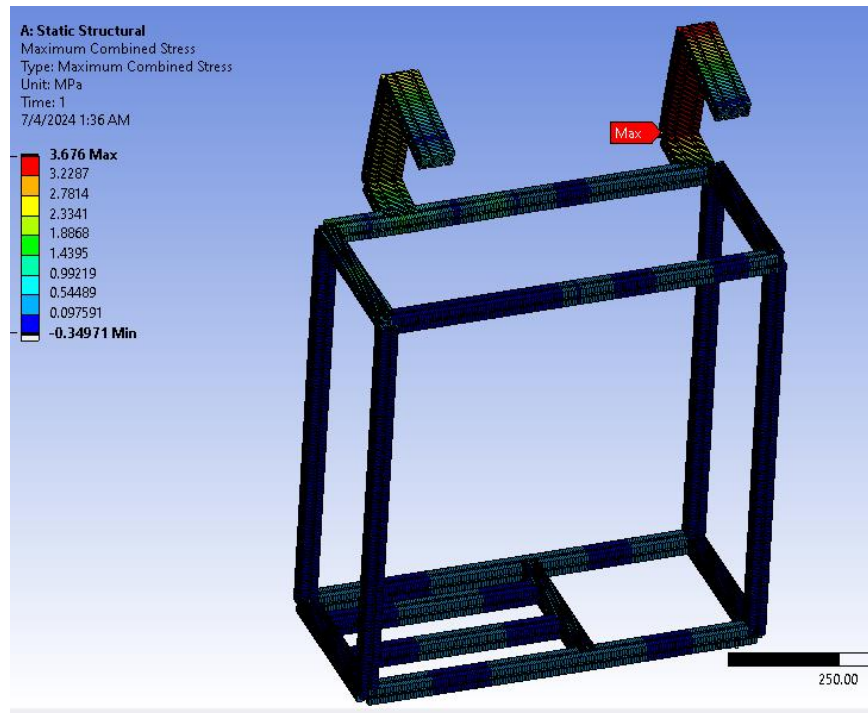


Fig. 60. Esfuerzos de flexión en la estructura de la máquina.

Ahora procediendo a realizar el análisis tomando la estructura como un cuerpo 3D, se malla la estructura con elementos tetraédricos que son los de mayor versatilidad frente a geometrías complejas. Como se está trabajando con licencia educativa, algunas de las limitantes es que sólo se puede mallar cuerpo con máximo 1 millón de elementos y sólo se puede usar dos núcleos del PC para solucionarse, por lo cual se debe conformar con una malla con elementos de tamaño considerable, lo cual incide directamente en la confiabilidad de los resultados y calidad del mallado. A pesar de lo anterior se procederá a realizar una aproximación con tamaño de elemento de 5 mm. (Lo cual es de tamaño considerable teniendo en cuenta la complejidad de los perfiles). La malla obtenida se observa en la figura

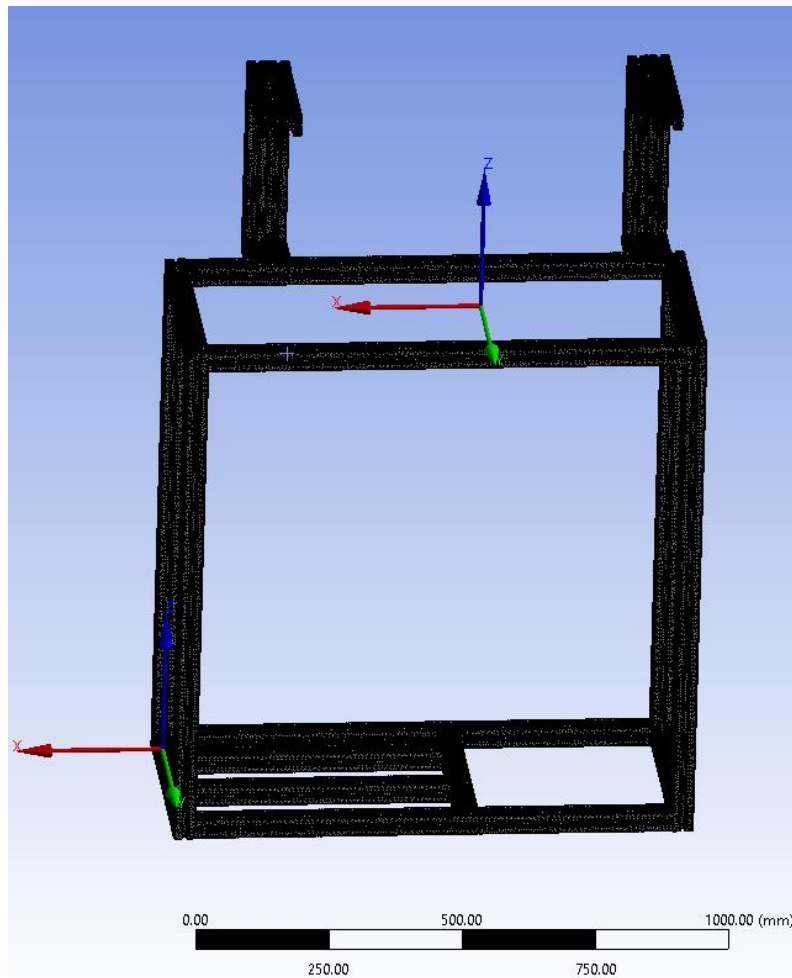


Fig. 61. Estructura mallada con elementos tetraédricos.

Definido el sistemas de referencia auxiliar para posicionar las fuerzas remotas, se procede a definir estas fuerzas, los apoyos en las patas de la máquina. La fuerza del modulo de plastiflechado actúa sobre la superficie de un semicirculo sobre la cara interior del perfil simulando la acción del sistema de unión, la cual básicamente aprieta sobre dicha cara. La fuerza del módulo de doblado actúa sobre la superficie cilindrica de los agujeros de los cuatro tornillos que ensamblan estos sobre el frame simulando el efecto de los tornillos sobre el frame. La placa principal de la máquina, a pesar de que estará ensamblada con tornillos, esta actuará sobre las caras horizontales que tienen vector normal en +z de los perfiles que la sostienen, puesto que en realidad, serán estas caras las que soportan dicho peso. El peso del FUYU y el header se supone que actuan sobre las caras de la sección transversal del perfil. También se tiene en cuenta el peso de los propios perfiles en los calculos del programa. Todo lo anterior se resume en la Fig. 62

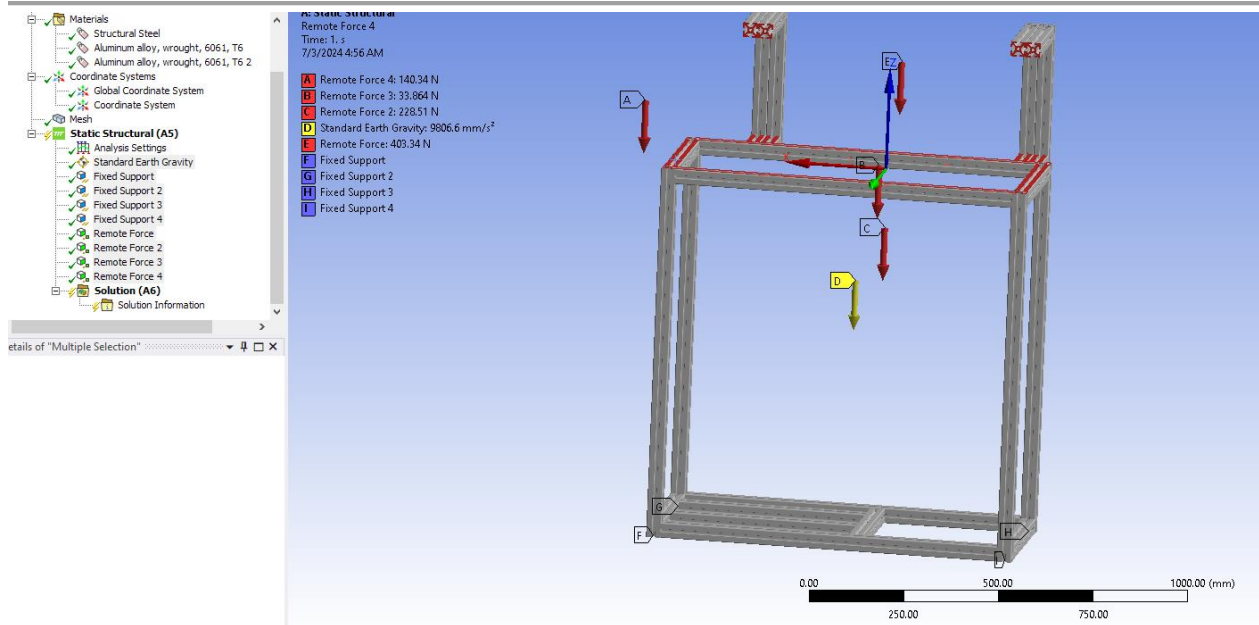


Fig. 62. Cargas sobre la estructura de la máquina.

Ahora se procede a solucionar para los esfuerzos de Von-mises y la deformación, obteniendo los resultados que se enseñan las Fig. 63 y Fig. 64.

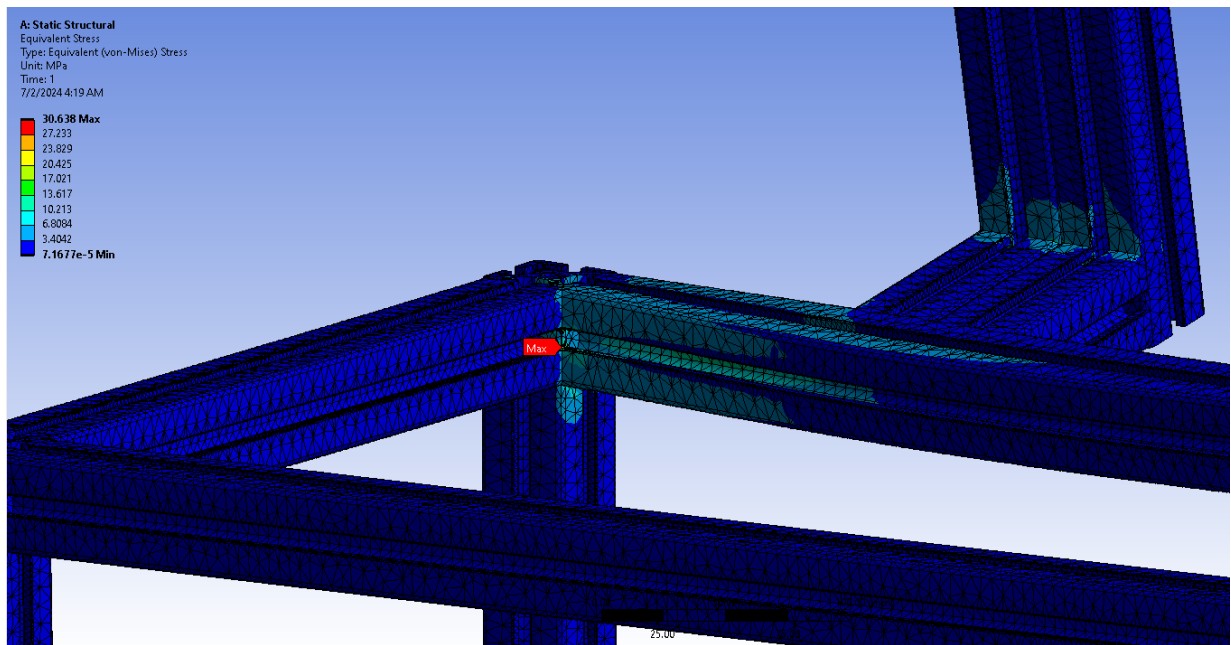


Fig. 63. Esfuerzos sobre la estructura de la máquina.

El esfuerzo de Von Mises indica la intensidad de las tensiones internas en un material bajo condiciones de carga, utilizado para predecir el punto de fallo en materiales dúctiles. La estructura de la máquina presenta un esfuerzo de Von Mises máximo de 30.638 MPa. En el caso de una aleación de aluminio 6560 con tratamiento térmico T6, que tiene un límite elástico de aproximadamente 275 MPa, el factor de seguridad calculado es de alrededor de 8.98. Este factor de seguridad sugiere que la estructura es segura frente a la combinación de diferentes esfuerzos.

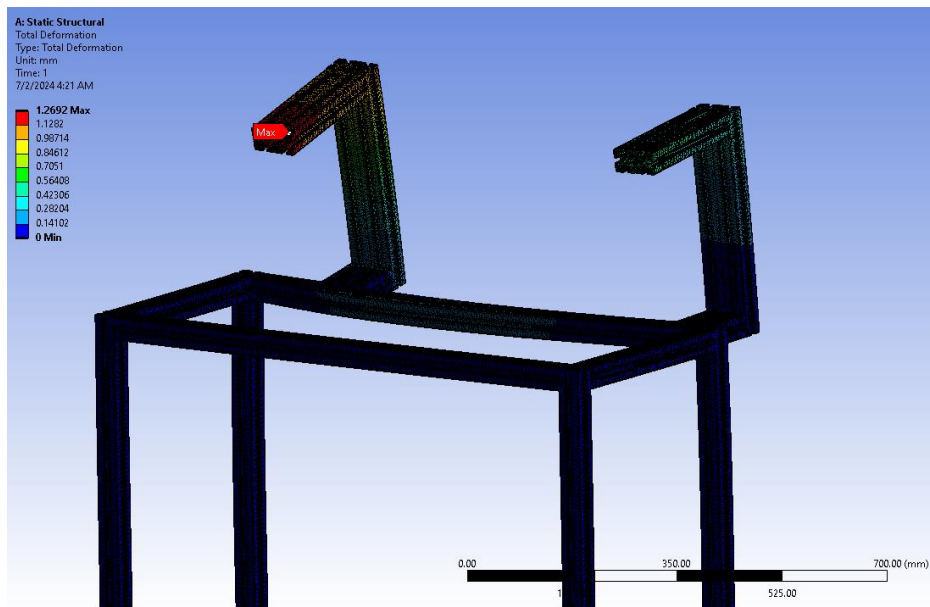


Fig. 64. Deformaciones sobre la estructura de la máquina.

Como se observa de la Fig. 64 la deformación máxima es de 1.27 mm aproximadamente, por lo que se tiene un análisis similar al caso de análisis de elementos lineales tipo viga, esto es, que no se considera importante esta deformación para la aplicación.

En conclusión, se reafirma el hecho de que la máquina no soporta esfuerzos considerables que afecten su integridad y/o funcionamiento, el material seleccionado cumple con requerimientos de resistencia estructural, con factores de seguridad altos.

H. Elementos de control y neumática de la máquina

Inicialmente se analizará los requerimientos neumáticos y eléctricos de la máquina de manera general, esto es, elementos de protección eléctricos, manguera neumática, cableado, etc. Posteriormente se entrará más en detalle en cada módulo. Es importante tener en cuenta, que similarmente a la parte mecánica, para el control y la neumática se debe priorizar elementos métricos.

Las máquinas neumáticas dentro de la empresa que no son de trabajo pesado, generalmente usan manguera de poliuretano (Polyurethane tube) de 4, 6, y 8 mm, dependiendo la necesidad, normalmente la de 8 mm se usa como entrada de aire para la máquina directamente a la unidad de mantenimiento y las unidades generadoras de vacío también tienen entrada de 8 mm, para pistones que realizarán fuerza considerable, se utiliza de 6 mm, para cilindros de poco diámetro de vástago y que no realizan fuerza considerable se utilizan normalmente manguera de 4 mm. Para este diseño se selecciona manguera de la Mc MASTER-CARR, en la figura se enseña las propiedades de estas y los precios respectivos.

Opaque Polyurethane Rubber

- Flexible
- Compatible with Barbed Tube Fittings, Compression Tube Fittings, Push to Connect Tube Fittings; see For Connection Style
- Firm (Durometer 95A)
- Temperature Range: See table

ID	OD	Wall Thick.	Bend Radius	Temp. Range, °F	For Connection Style	Max. Pressure	Max. Vacuum	Choose a Color	Lengths, ft.	Per Ft.
Metric										
2.4mm	4mm	0.8mm	9mm	-40° to 160°	Push to Connect	210 psi @ 72° F	28 in. of Hg @ 72° F	White, Black, Blue, Green, Red, Yellow	25, 50, 100	50315K22 \$0.30
ID	OD	Wall Thick.	Bend Radius	Temp. Range, °F	For Connection Style	Max. Pressure	Max. Vacuum	Choose a Color	Lengths, ft.	Per Ft.
Metric										
4mm	6mm	1mm	12mm	-40° to 160°	Push to Connect	160 psi @ 72° F	28 in. of Hg @ 72° F	White, Black, Blue, Green, Red, Yellow	25, 50, 100, 500	50315K24 \$0.52
ID	OD	Wall Thick.	Bend Radius	Temp. Range, °F	For Connection Style	Max. Pressure	Max. Vacuum	Choose a Color	Lengths, ft.	Per Ft.
Metric										
5mm	8mm	1.5mm	19mm	-40° to 160°	Push to Connect	190 psi @ 72° F	28 in. of Hg @ 72° F	White, Black, Blue, Green, Red, Yellow	10, 25, 50, 100, 500	50315K25 \$0.91

Fig. 65. Propiedades de manguera neumática de 4,6 y 8 mm.

Nota. Fuente <https://www.mcmaster.com/>.

Un elemento importante que se debe instalar en la entrada de las máquinas neumáticas son las unidades de mantenimiento. En este caso se selecciona la unidad de mantenimiento de SMC AC40-N04D-SV-Z-A Con un precio de 302.88 USD, esta se presenta en la Fig. 66; Esta unidad cuenta con un presostato, y válvula manual.

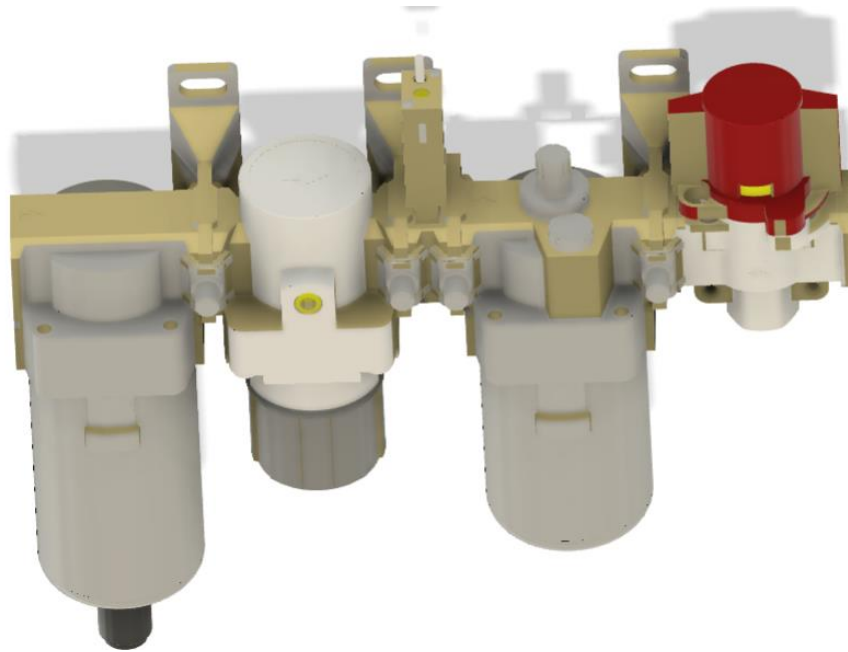


Fig. 66. FRL CAD.

Nota. Fuente <https://www.mcmaster.com/>.

Generalmente a la entrada de la unidad de mantenimiento se conecta una electroválvula 5/2 monoestable y un manómetro. La válvula 5/2 permite cortar el flujo de aire a la máquina para el paro de emergencia. La válvula que se recomienda es la válvula de SMC AV3000-F03-5YOC-Q, con un precio 180.75 USD, la cual tiene entrada de aire de 8 mm.

Para controlar los pistones doble efecto se selecciona la válvula 5/2 de SMC SY3160-5LOU-C4, la manguera que usa esta válvula es de 5/32 in o 4 mm. Esta tiene un precio de 56.31 USD. Generalmente, para estas válvulas se usan en bloques, lo cual simplifica su conexión, lo anterior se observa en la Fig. 67a). Como solo se usarán en la máquina pistones doble efecto, cuando se especifique que se requiere una válvula 5/2 se está haciendo referencia a la válvula SY3160-

5LOU-C4. Los sensores finales de carrera que se recomienda son del fabricante SMC, el sensor D-C73C con un valor de 22.35 USD, siempre que se haga referencia a final de carrera, se estará haciendo referencia este sensor.

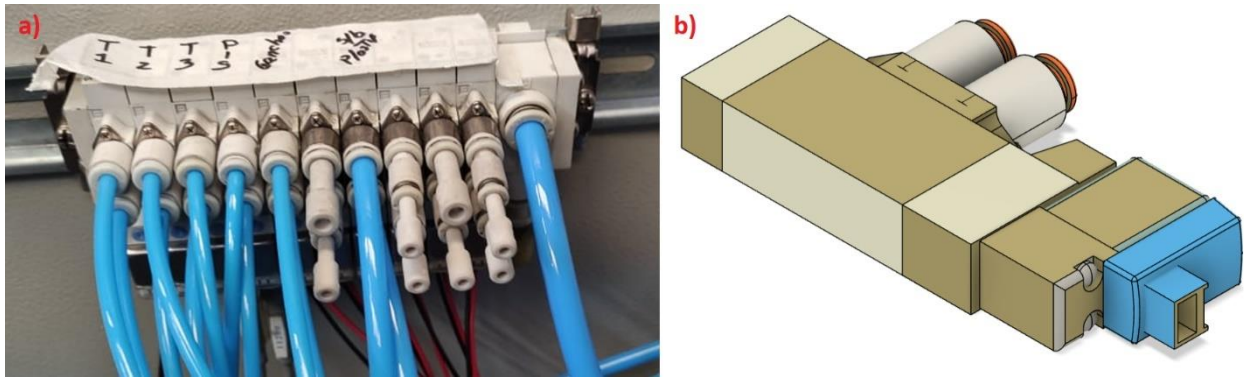


Fig. 67. a) Módulo de válvulas SY3160-5LOU-C4. b) CAD válvula SY3160-5LOU-C4.

Nota. Fuente <https://www.smc pneumatics.com/>.

La unidad de mantenimiento y las válvulas generalmente se ensamblan en el reverso del tablero eléctrico, usando riel DIN que es ampliamente usado dentro de los tableros eléctricos.

El metro de riel DIN en el comercio local se puede encontrar entre 12000 y 10000 COP [21]

Otro elemento clave para el direccionamiento de las conexiones en el tablero son las canaletas ranuradas, en este caso se considera la canaleta de 40x40, estas vienen con una longitud de 2 m y un precio de 45100 COP y es distribuido por Schneider Electric.

Además de controlador, el tablero eléctrico debe tener ciertos elementos de protección y para facilitar las conexiones, algunos de estos son: Guarda motor, contactor, breques, una fuente y algunos fusibles. A continuación, se especifica acerca de cada uno de estos. Es importante contar con un botón de paro de emergencia, este botón sería una entrada para el PLC, el start se hará desde una HMI.

En el diseño de un tablero eléctrico para una máquina neumática controlada por un PLC es fundamental incluir una serie de elementos que aseguren la correcta alimentación, protección y control del sistema. La fuente de alimentación es esencial para proporcionar la tensión y corriente necesarias, típicamente 24V DC, para el funcionamiento del PLC y otros dispositivos electrónicos. La protección eléctrica se garantiza mediante disyuntores (breakers), que protegen contra sobrecorrientes y cortocircuitos, y fusibles que actúan como protección secundaria para componentes específicos.

Los contactores, aunque su uso es limitado en sistemas sin motores trifásicos, son útiles para la conmutación de circuitos de control. Los relés intermedios se utilizan para aislar y amplificar señales de control, protegiendo las salidas del PLC y permitiendo la conmutación de mayores cargas. Además, es crucial disponer de una interfaz hombre-máquina (HMI) que permita al operador interactuar con la máquina, monitorear el estado y ajustar parámetros.

Para una organización y conexión adecuada de los cables, se utilizan bornes de conexión y canaletas plásticas.

Finalmente, se deben incluir elementos de seguridad como el botón de paro de emergencia y los interruptores de seguridad, que protegen al operario y aseguran que la máquina funcione solo bajo condiciones seguras. Estos componentes, combinados, garantizan un sistema robusto y eficiente para la operación segura y confiable de la máquina neumática.

En este trabajo no se hará énfasis en la conexión del tablero, solo se mencionarán los componentes requeridos para su montaje.

Para identificar el controlador óptimo para la máquina dobladora de etiquetas-caballetes se debe analizar todas las entradas y salidas necesarias, tanto análogas como digitales. Se analizará por secciones la máquina.

1. Sección del magazín

En esta sección se hace necesario controlar el motor paso a paso, por lo que se hace necesario dos salidas digitales, una para la entrada de step (se controla por PWM) del driver controlador del motor y otra para entrada de dirección para controlar el sentido de rotación del motor. El motor paso recomendado es un NEMA 17 (Nema 17 del YEJMKJ de 70 Ncm, con paso de 1.8 grados de 20.98 USD), este cumple con los requerimientos de precisión y de torque, pues el peso de las etiquetas y de las placas que se desplazarán por el tornillo sin fin no son de magnitud significativa. En cuanto a las entradas se necesitará un sensor óptico para detectar si es necesario desplazar el tornillo para desplazar nuevas etiquetas a la zona de recolección. Se recomienda el sensor suiche infrarojo con un rango de detección de 3-80cm. E18-D80NK, el cual tiene un valor de 28203 COP.

El driver para el motor paso a paso será el driver TB6600, que es un Controlador de 0.2A - 4A para motores paso a paso NEMA 17 y 23 y tiene un costo de 53431 COP en el mercado local.

Sección de la zona de doblaje: Se requiere controlar tres pistones doble efecto, se recomienda los pistones CD85N10-50-B de SMC (\$32.813 USD), pistones doble efecto con carrera de 50 mm sin guiar. Por lo que se necesitará electroválvulas para controlar los pistones, como serán doble efecto es necesario electroválvulas 5/2 monoestables, una para cada pistón doble efecto. Se usan además dos pistones simple efecto de 15 mm guiados, se recomienda el pistón de SMC CDUK16-15T-XC34 (el cual es un micro pistón guiado). Para estos últimos se utilizan también electroválvulas 5/2. En el diseño se considera necesario que la etiqueta sea succionada en la base del caballete, por lo que se requiere un eyector de vacío, en la empresa se prioriza la eficiencia energética por la que se utilizan eyectores de ahorro energético, estos tienen tecnología digital que corta el aire cuando la presión alcanza el vacío necesario, se usará el eyector SMC ZK-ZSVA-A, este sistema tiene una válvula 3/2 incluida, esta tiene un precio de 116.30 USD, la desventaja de usar este tipo de sistema es que se deben usar dos salidas, puesto que no basta con retirar el vacío sino que se debe “soplar” (El mismo eyector tiene una entrada de presión para esto). En cuanto a entradas se requieren sensores finales de carrera, para los pistones doble efecto es necesario dos sensores por pistón para tener mayor control y versatilidad sobre estos actuadores, el sensor recomendado es el sensor de SMC D-C73C27.

2. Sección de desplazamiento o header.

La cabecera cuenta con el actuador líneal Fuyu, y tres pistones, este actuador necesita dos salidas digitales para el control de su movimiento, uno para la dirección de movimiento y la otra para accionar el actuador, además de salidas para controlar el movimiento de los pistones. Para controlar el movimiento de los pistones se requieren electroválvulas 5/2 (tres unidades) monoestables. Se selecciona el eyector SMC ZK-ZSVA-A ya mencionado anteriormente, uno para cada plataforma, es decir en total 3. En cuanto a entradas necesarias se requieren dos sensores finales de carrera por cada pistón y adicionalmente dos finales de carrera para el control del movimiento del header. La corredera FUYU requiere de dos salidas, una para controlar la velocidad y otra para la dirección. Los eyectores requieren 2 salidas cada uno, pues estos cuando se desactiva la entrada de vacío continúan succionando, se debe “soplar” para quitar este vacío usando una entrada en estos eyectores destinadas para estos, por lo que en este módulo se debe controlar 8 salidas digitales. Es importante mencionar que la corredera FUYU trae su propio driver para su motor, específicamente el FUYU FMDD50D40N0M. En la Fig. 68 se enseña este.

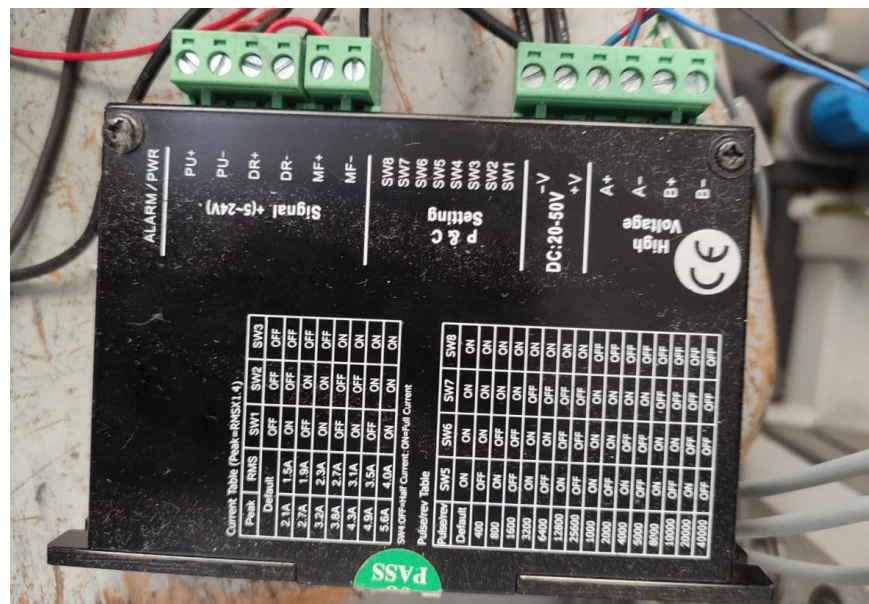


Fig. 68. Driver para motor de la corredera FUYU.

3. Sección de secado.

Como se tiene un pistón de doble efecto, este debe tener sus respectivos finales de carrera (2) y su respectiva válvula 5/2 monoestable, es decir que se tendrá dos entradas y una salida por parte de este pistón, ahora para accionar el aire de las toberas, se requiere simplemente una válvula 3/2, esto es una salida adicional.

4. Sección de plastiflechado.

Este sistema cuenta el pistón doble efecto de SMC CD85N25-80C-B que desplaza las plastiflechadora, entonces para su control se requiere dos sensores finales de carrera, la plastiflechadora está conectada a un pistón doble efecto, pero no se requiere sensores para su control, pero sí un botón para que el operario accione el plastiflechado y que continúe la secuencia neumática, entonces para cada pistón se requiere una válvula 5/2, este sistema cuenta con sensor de barrera.

5. Sección de dosificación y pegamento.

Como se trata de un sistema comercial, esta cuenta seguramente con su propio PLC, actuadores, sensores, etc. Por lo que se debe realizar una comunicación entre PLCs, se utiliza protocolo de comunicación serial RS-232 con Modbus RTU para conexión punto a punto, por lo que para este módulo no se tiene entradas ni salidas para el PLC de la máquina, pero las entradas propias del PLC del InvisiPac deberán aparecer como variables y/o entradas/salidas en las simulaciones y análisis.

Dentro de la compañía , un PLC de amplio uso es el PLC Delta, por lo que se selecciona este como primera opción el PLC Delta DVP 20SX2, este tiene 8 entradas digitales y 6 salidas digitales, 4 entradas análogas y 2 salidas digitales, es un PLC expandible y tiene un voltaje de trabajo de 24VCC, tiene comunicación serial RS-232, RS-485, USB. Tiene una memoria de 10k Words, y una capacidad de 16k de pasos. Es expandible hasta 256 entradas/salidas.

La pantalla que se selecciona es la pantalla DOP-107WV del mismo fabricante que el PLC y que es compatible con esta, esta tiene un valor aproximado de 2058876 COP.

MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.

115

Toda la información anterior, de la selección de la electroneumática de la máquina se resume en las Tabla 18 y Tabla 19.

Tabla 18. Elementos neumáticos de la máquina (Diferentes a pistones).

Neumática							
Referencia	Descripción	Link de compra	Presentación	Qty	Precio unidad USD	Precio unidad COP	Precio total COP
PNEU_TUBING_1	Manguera neumática 4 mm	https://www.mcmaster.com/catalog/130/166/50315K22	1ft	66	0.30	1228.8	81100.8
PNEU_TUBING_2	Manguera neumática 6 mm	https://www.mcmaster.com/catalog/130/166/50315K22	1ft	33	0.52	2129.92	70287.36
PNEU_TUBING_2	Manguera neumática 8 mm	https://www.mcmaster.com/catalog/130/166/50315K22	1ft	16	0.91	3727.36	59637.76
PNEU_AC40-N04D-SV-Z-A	Unidad de mantenimiento SMC	https://www.smc pneumatics.com/AC40A-N04-SV-Z-A.html	1 unidad	1	302.88	1240596.48	1240596.48
PNEU_AV3000-F03-5YOC-Q	Válvula 3/8 SMC 3/8"	https://www.smc pneumatics.com/AV3000-F03-5YOC-Q.html	1 unidad	1	180.75	740352	740352
PNEU_SY3160-5LOU-C4	Válvula 5/2 SMC 5/32"	https://www.smc pneumatics.com/SY3160-5LOU-C4.html	1 unidad	2	56.31	230645.76	1845166.08
PNEU_VT307-5G1-02N	Válvula 3/2 SMC 1/4"	https://www.smc pneumatics.com/VT307-4G1-01.html	1 unidad	1	27.95	114483.2	343449.6
PNEU_ZK-ZSVA-A	Eyector de vacío	https://www.smc pneumatics.com/ZK2-ZSVA-A.html	1 unidad	4	116.3	476364.8	1905459.2
PNEU_MANOMETRO	Manómetro 1/4 NPT	https://www.mercadolibre.com.co/regulador-aire-manometro-cuerda-14-npt-truper/p/MCO26104713#product_client=search_nordic&searchVariation=MCO26104713&position=2&search_layout=grid&type=product&tracking_id=21cb1f49-8895-40c2-b81a-0c4acaeecc62&wid=MCO1356814639&sid=search	1 unidad	1	NA	39710	39710
TOTAL PNEU							6325759.28

Tabla 19. Elementos eléctricos de la máquina.

Tablero y conexiones eléctricas							
Referencia	Descripción	link de compra	Presentación	Qty	Precio unidad USD	Precio unidad COP	Precio total COP
ELEC_DZ5CA007	Terminal azul con lengüeta 22 AWG	https://co.mouser.com/ProductDetail/Schneider-Electric/DZ5CA007?qs=OCBJ0mi9odqnAR342aUjGw%3D%3D	100 unidades	1	NA	203100	203100

MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.

116

ELEC_DZ 5CA015	Terminal azul con lengüeta 16 AWG	https://co.mouser.com/ProductDetail/Schneider-Electric/DZ5CA015?qs=OCBJ0mi9odpMji3qDBF%252Bcg%3D%3D	100 unidades	1	NA	203100	203100
ELEC_22 AWG_1	Cable 22 AWG negro	https://www.steren.com.co/cable-esta-ado-para-conexiones-22-awg-color-negro.html	1m	20	NA	1300	26000
ELEC_22 AWG_2	Cable 22 AWG rojo	https://www.steren.com.co/cable-esta-ado-para-conexiones-22-awg-color-negro.html	1m	20	NA	1300	26000
ELEC_16 AWG_1	Cable 16 AWG negro	https://www.bigtronica.com/cables/energia/1546-cable-vehicular-awg-16-negro-x-metro-5053212015466.html	1m	5	NA	850	4250
ELEC_16 AWG_2	Cable 16 AWG rojo	https://www.bigtronica.com/cables/energia/1547-cable-vehicular-awg-16-rojo-x-metro-5053212015473.html	1m	5	NA	850	4250
ELEC_16 AWG_3	Cable 16 AWG verde	https://suconel.com/product/cable-vehicular-verde-16awg-sgt-centelsa-cvh16v/	1m	5	NA	1785	8925
ELEC_16 AWG_4	Cable 16 AWG azul	https://www.bigtronica.com/cables/energia/1548-cable-vehicular-awg-16-azul-x-metro-5053212015480.html	1m	5	NA	850	4250
ELEC_16 AWG_5	Cable 16 AWG blanco	https://suconel.com/product/cable-vehicular-blanco-16awg-sgt-centelsa-cvh16b/	1m	5	NA	1785	8925
ELEC_RIE LDIN	Riel DIN	https://didacticaselectronicas.com/index.php/component/virtuemart/view/productdetails/virtuemart_product_id/11975/virtuemart_category_id/627	1m	5	NA	11900	59500
ELEC_CA NALETA	canaleta 40x40	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-538461187-canaleta-ranurada-dexson-gris-40x40-JM#polycard_client=search-nordic&position=1&search_layout=grid&type=item&tracking_id=189bf7dc-ecb0-440d-b53b-7408421b7503	2m	3	NA	45100	135300
ELEC_TO PEDIN	Tope riel DIN 35 mm	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1397332327-50-topes-de-riel-din-de-35-mm-para-montaje-final-de-bloque-d-JM#polycard_client=search-nordic&position=4&search_layout=stack&type=item&tracking_id=1e6aac72-0499-49ff-9ddf-2a61194c0f89	50 unidades	1	NA	130198	130198
ELEC_TE RMINAL	Terminal de conexión para riel DIN	https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/view/productdetails/virtuemart_product_id/13437/virtuemart_category_id/627	1 unidad	50	NA	4610	230500

MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.

117

ELEC_BR EAKER	Breaker para riel DIN magnetotérmico	https://www.electropartes.com.co/producto/interruptor-automatgico-magnetotermico-ic60n-2p-4a-curva-c-a9f74204/	1 unidad	1	NA	163633	163633
ELEC_FU ENTE24V	Fuente DC 24V	https://www.amazon.com/-/es/REIGNPOWER-LP1050D-24S-24VDC-Fuente-alimentaci%C3%B3n/dp/B00GI4W9NS	1 unidad	1	50.4	206438.4	206438.4
ELEC_PL C_DVP20 SX2	PLC delta DVP 20SX211R	https://es.aliexpress.com/item/1005004947276011.html?gatewayAdapt=glo2esp	1 unidad	1	NA	102639.3	1026393
ELEC_DV P16WP11 R	Módulo I/O (8/8) para PLC Delta	https://co.mouser.com/ProductDetail/Delta-Electronics/DVP16SP11R?qs=HoCaDK9Nz5d9M4TAOWUqJQ%3D%3D	1 unidad	4	NA	625238	2500952
ELEC_HM I_DOP- 107WV	HMI para PLC Delta	https://co.mouser.com/ProductDetail/Delta-Electronics/DOP-107WV?qs=HoCaDK9Nz5cVJOtcKzIzvQ%3D%3D	1 unidad	1	NA	205887.6	2058876
ELEC_GA BINETE	Gabinete IP66 80x60x25	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1938820262-gabinete-metalico-schneider-ip66-doble-fondo-80x60x25cm-_JM?searchVariation=variatio nID#polycard_client=search-nordic&position=3&search_layout=grid&type=item&tracking_id=9997c969-fc28-4ea4-9bb2-e59b0d56e7d6	1 unidad	1	NA	135000.0	1350000
TOTAL ELEC							8350590.4

Es importante mencionar de la Tabla 18 y Tabla 19, que no se está teniendo en cuenta los elementos neumáticos, ni los sensores del módulo de plastiflechado (Aunque claramente se debe tener en cuenta para su programación), puesto que estos ya están contemplados en el precio del módulo de plastiflechado que ya fue desarrollado en la misma empresa.

Tabla 20. Elementos de entradas y actuadores eléctricos.

Entradas y actuadores eléctricos							
Referencia	Descripción	Link de compra	Presentación	Cantidad	Precio unidad USD	Precio unidad COP	Precio total COP
I/O_D- C73C	Sensor final de carrera magnético	https://www.smc pneumatics.com/D-C73C.html	1 unidad	19	22.35	91545.6	1739366.4
I/O_BOTO N_PARO	Botón paro de emergencia	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-837885251-boton-pulsador-interruptor-paro-de-	1 unidad	1	NA	32500	32500

MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.

118

		emergencia-con-caja-ac-JM#polycard_client=search-nordic&position=2&search_layout=grid&type=item&tracking_id=13f21395-b464-4856-a63e-acdcff10a0e8					
I/O_E18-D89NK	Sensor óptico infrarrojo	https://ferretronica.com/products/sensor-de-proximidad-infrarrojo-e18-d80nk?variant=12202461724765&currency=COP&gad_source=1	1 unidad	1	NA	23000	23000
I/O_TB6600	Driver motor paso a paso 4A	https://didacticaselectronicas.com/index.php/view/productdetails/virtuemart_product_id/4111/virtuemart_category_id/733	1 unidad	1	NA	53431	53431
TOTAL I/O							1848297.4

I. Costo de implementación de la máquina

Con toda la información anterior se puede realizar un estimado del costo de implementación de la máquina esto se enseña en la Tabla 21.

Tabla 21. Costo de implementación del diseño.

Ítem	Descripción	Costo COP
00Structure	Estructura de la máquina	3317772.22
01Bending	Elementos del módulo de doblado	3494493.904
02Magazine	Elementos del módulo de alimentación de etiquetas	994260.3981
03Drying	Elementos del módulo de secado	857833.2936
04Displacement	Elementos del módulo de desplazamiento	6286741.723
05Plastiflechado	Elementos del módulo de plastiflechado	6144000
06GlueDosing	Elementos del módulo de dosificación y pegamento (Invisipac)	30310400
07Pneumatic	Elementos neumáticos restantes	6325759.28
08I/O	Sensores y actuadores	1848297.4
09ElectricComponents	Elementos eléctricos	8350590.4
Subtotal elementos		67930148.62
10ManoObra	Mano de obra Mecánico y diseñador	11000000
Total		78930148.62

Se resalta de la Tabla 21, que la mano de obra se toma como la construcción de la máquina en dos meses, y para esto se supone necesario un ingeniero junior de automatización y un mecánico capacitado para ensamblar la máquina, es está suponiendo que el salario del mecánico es de 2500000 y del ingeniero, 3000000.

J. Secuencia neumática.

La forma en que se procederá para determinar la automatización del proceso será el siguiente: Primero se enseñará cada paso de la secuencia para esclarecer explícitamente el funcionamiento de la máquina. El entendimiento adquirido será aprovechado en el desarrollo del programa del PLC, el cual será desarrollado bajo la metodología de redes de Petri.

Por facilidad se nombrará los pistones tal como se enseña en la Fig. 69.

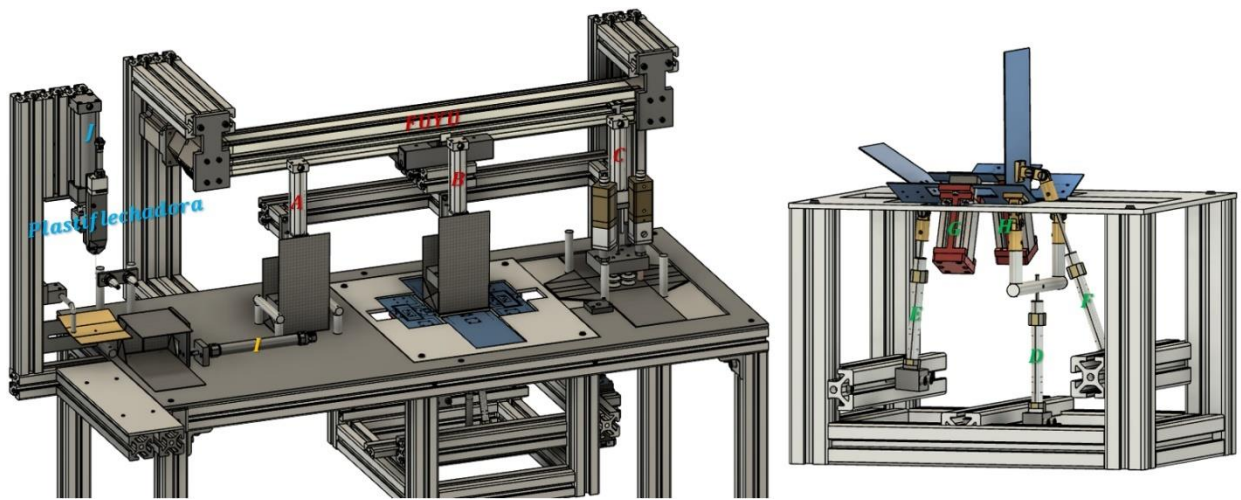


Fig. 69. Denominación de los pistones de la máquina.

Definido el “nombre” de cada pistón se procede a determinar las entradas y salidas del sistema. Las entradas se presentan en la Tabla 22 y las salidas en la Tabla 23.

Tabla 22. Entradas del PLC.

Entradas Físicas		
Referencia	Descripción	Módulo
x0	Paro de emergencia	General
x1	Sensor óptico magazín	Magazine
x2	Final de carrera A+	Desplazamiento
x3	Final de carrera A-	Desplazamiento
x4	Final de carrera B+	Desplazamiento

x5	Final de carrera B-	Desplazamiento
x6	Final de carrera C+	Desplazamiento
x7	Final de carrera C-	Desplazamiento
x20	Final de carrera FUYU+	Desplazamiento
x21	Final de carrera FUYU-	Desplazamiento
x22	Final de carrera I+	Secado
x23	Final de carrera I-	Secado
x24	Final de carrera J+	Plastiflechado
x25	Final de carrera J-	Plastiflechado
x26	Botón plastiflechado	Plastiflechado
x27	Final de carrera plastiflechadora+	Plastiflechado
x30	Final de carrera plastiflechadora-	Plastiflechado
x31	Final de carrera D+	Doblado
x32	Final de carrera D-	Doblado
x33	Final de carrera E+	Doblado
x34	Final de carrera E-	Doblado
x35	Final de carrera F+	Doblado
x36	Final de carrera F-	Doblado
x37	Final de carrera G	Doblado
x40	Final de carrera H	Doblado
x41	Sensor de barrera	Plastiflechado
x45	Botón magazín	Magazín

Es importante resaltar de la Tabla 22, que a pesar de que no se tiene en cuenta las entradas ni salidas del módulo de dosificación y pegado, debido a que estas estarán conectadas al controlador propio de este sistema, en algún punto deben aparecer como variables dentro del programa y simulación.

Tabla 23. Salidas del PLC.

Salidas		
Referencia	Descripción	Módulo
y0	Step motor paso a paso	Magazine
y1	Dir motor paso a paso	Magazine
y2	Electroválvula A	Desplazamiento
y3	Electroválvula B	Desplazamiento
y4	Electroválvula C	Desplazamiento
y5	Step motor FUYU	Desplazamiento
y6	Dir motor FUYU	Desplazamiento

y7	Vacío eyector A	Desplazamiento
y20	Presión Eyector A	Desplazamiento
y21	Vacío eyector B	Desplazamiento
y22	Presión Eyector B	Desplazamiento
y23	Vacío eyector C	Desplazamiento
y24	Presión Eyector C	Desplazamiento
y25	Electroválvula I	Secado
y26	Electroválvula I tobera	Secado
y27	Electroválvula J	Plastiflechado
y30	Electroválvula plastiflechadora	Plastiflechado
y31	Electroválvula D	Doblado
y32	Electroválvula E	Doblado
y33	Electroválvula F	Doblado
y34	Electroválvula G	Doblado
y35	Electroválvula H	Doblado
y36	Vacío eyector doblado	Doblado
y37	Presión Eyector doblado	Doblado
y40	Electroválvula-alimentación	General

Algo importante a resaltar de las Tabla 22 y Tabla 23 es que no se tienen salidas ni entradas análogas, a pesar de esto, se escogió un PLC con entradas y salidas análogas, buscando que la máquina sea escalable. Además, no se descarta la necesidad de conectar algún sensor de temperatura en el módulo de dosificación o sensor de nivel para el nivel de pegamento en el tanque de pellets u otro tipo de aplicación que se pueda requerir en el futuro.

Por simplicidad, se explicará primero la secuencia de doblado, para luego ser implementada en la secuencia general.

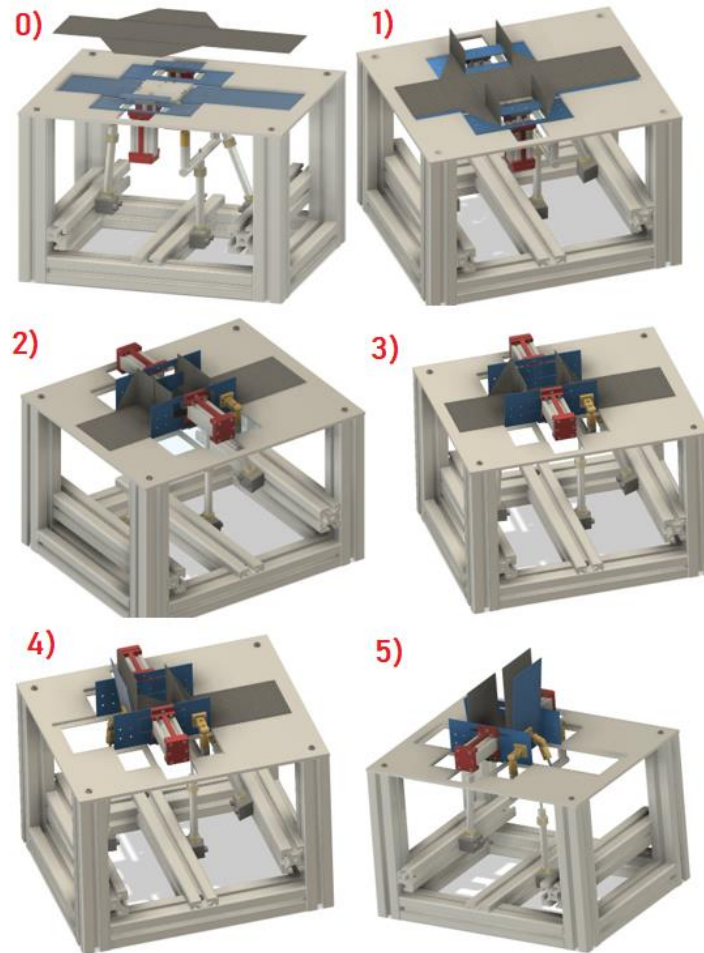


Fig. 70. Estados del módulo de doblaje de etiquetas.

Se resalta de la Fig. 70, que la diferencia entre el estado 2 y estado 3 del módulo de doblado es que, en el estado 3 los micro pistones están retraídos. La secuencia neumática que representa este doblado sería entonces D+G-H-E+F+D-G+H+E-F- es importante tener en cuenta que los pistones, simple efecto (G y H) su posición natural es con el vástago accionado. Realmente los estados 0 y 1 son el mismo si sólo se observa el módulo de doblado, pero realmente son estados diferentes en donde algún pistón del header estará actuando para llevar la etiqueta del estado 0 al estado 1.

Entendida la secuencia de doblaje, se procede a plantear la secuencia completa, similarmente se tratará de plantear cada estado. También es importante mencionar, que aquí por simplicidad se desarrollará la secuencia principal, es decir que no se realizará las secuencias de

chequeos de funcionamiento, ni la secuencia de inicio, que son fundamentales para que la máquina funcione.

Ahora analizará paso a paso los estados de los pistones. La secuencia principal se activará una vez, la secuencia de inicio lleve los pistones y las etiquetas a la posición mostrada en la figura. Aquí se supondrá que el estado inicial (M0) se trata de un estado con todas las salidas desactivadas, pero en realidad este no es el estado inicial como tal, pero se supondrá así para el desarrollo del resto de la secuencia. De este estado inicial se pasa al estado M1 que es el estado donde ya está habilitada la máquina para trabajar, la transición para pasar del estado M0 a M1 será un start desde el HMI. En la etapa M1, los actuadores están estáticos, los pistones del header están extendidos, los pistones del módulo de plastiflechado están retraídos, el pistón del subsistema está retraído. Todos los pistones del sistema de doblado están retraídos. Para cambiar de estado el operario debe garantizar que el paquete de calcetines esté bien posicionado en la etiqueta que será plastiflechada. Este estado se observa en la Fig. 71.

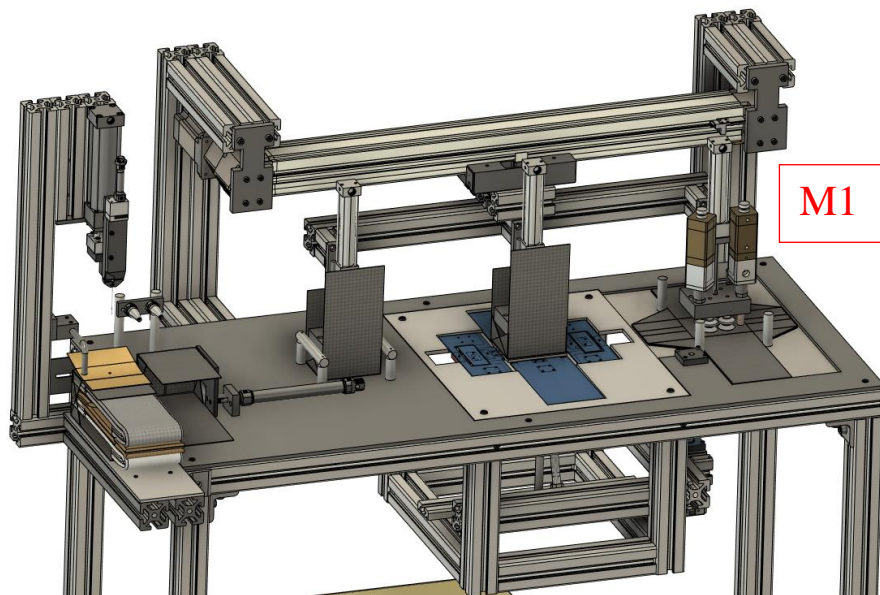


Fig. 71. Estado M1 de la secuencia.

Para pasar del estado M1 al estado M2, es decir la transición se dará cuando la operario oprima un botón de accionamiento incluido en este módulo. El estado M2 es idéntico al estado M1, con la diferencia que el pistón J está en movimiento debido a que se cambió su estado para que se

extendiera, Una vez la aguja traspase el paquete de medias, que este momento debe coincidir con la activación del final de carrera J+, siendo está la señal que activa la transición para el siguiente estado.

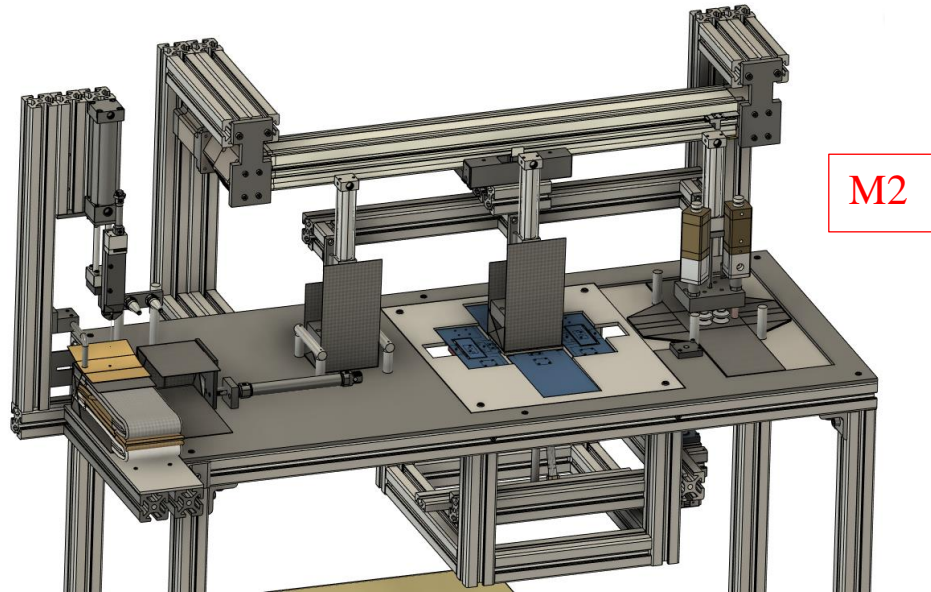


Fig. 72. Estado M2 de la secuencia.

En el estado M3, ya el pistón J alcanzó toda su extensión, y se activa el pistón de la plastiflechora para unir el paquete a la etiqueta. Cuando el pistón se extiende completamente, coincide, por su mecanismo que la plastiflecha ya salió de la aguja de la plastiflechadora, es decir que ya se unió el paquete siendo entonces la señal del final de carrera del pistón de la plastiflechadora el hecho que da paso a la transición entre el estado M3 y el siguiente. El siguiente estado es básicamente volver al estado M1, puesto que se debe retraer el pistón de la plastiflechadora y el pistón J que es el que desplaza la plastiflechadora. En este punto la operaria debe retirar el paquete para dar paso a que el sistema alimente a la plastiflechadora con una nueva etiqueta.

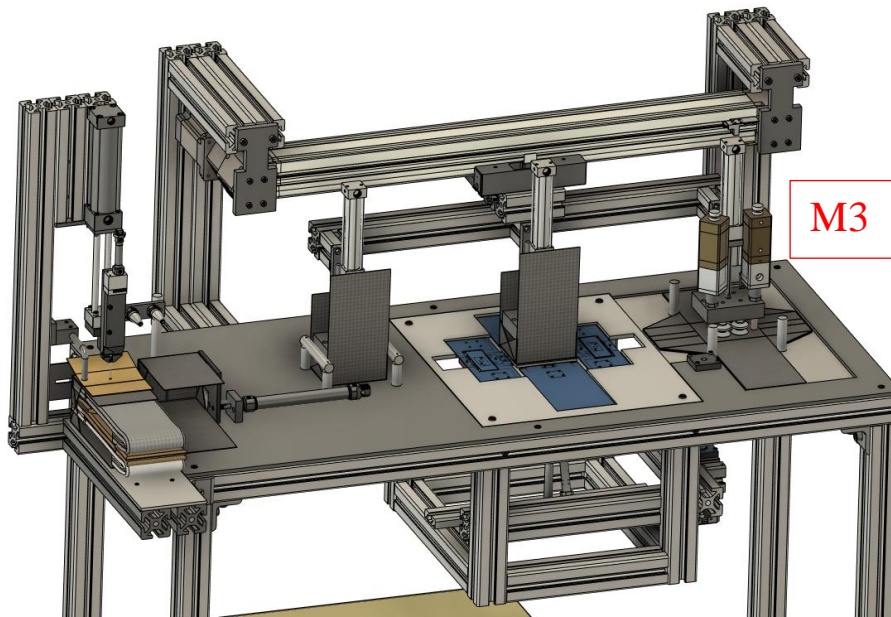


Fig. 73. Estado M3 de la secuencia.

Una vez el programa esté de nuevo en el estado 1, la transición que debe darse debe pasar al estado M4, y esta se da cuando el pistón J está retraído y el sensor de barrera no detecta el paquete de calcetines (porque ya el operario lo retiró), ahora, en el estado M4, se retraen los pistones del header y se activa el vacío en estos para así succionar las etiquetas, como se observa en la Fig. 74.

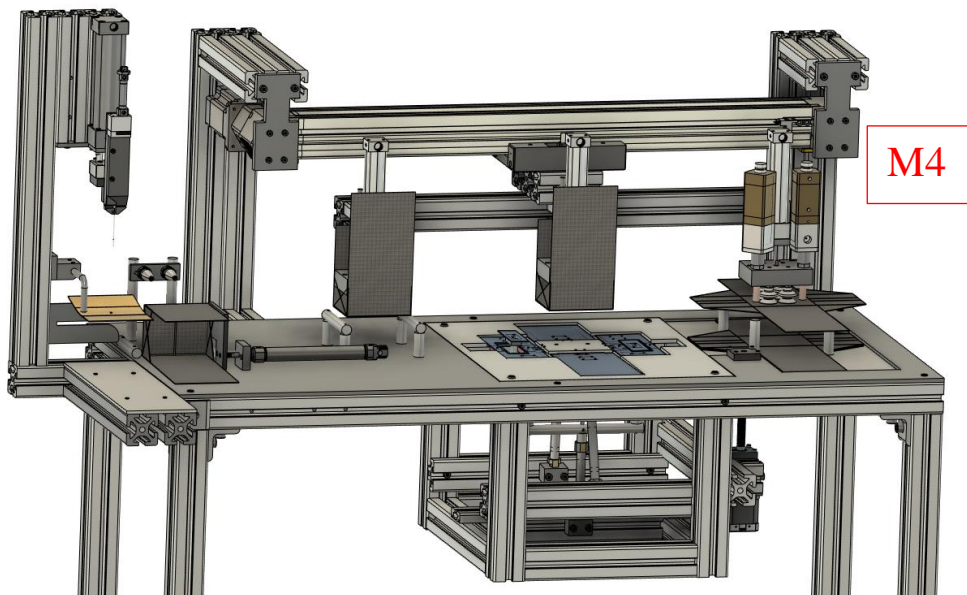


Fig. 74. Estado M4 de la secuencia.

Una vez los tres pistones se retraen completamente (sensor A-, sensor B- y sensor C-activados), se cambia al siguiente estado, que es el desplazamiento de las etiquetas hacia la izquierda (observando la máquina frontalmente). Esto es el estado M5 que se observa en la figura, en este estado todos los pistones del header están retraídos.

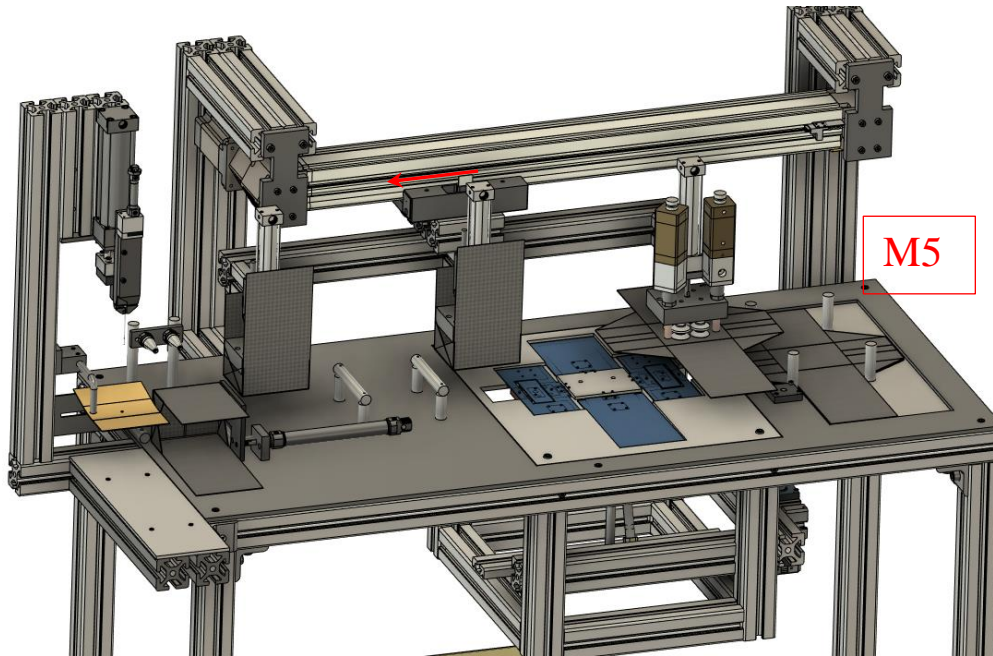


Fig. 75. Estado M5 de la secuencia.

Una vez se desplaza el FUYU hasta alcanzar su posición límite, que justamente es cuando se activa el sensor final de carrera FUYU+ se hace la transición al siguiente estado M6. En el estado M6 los pistones de header se están extendiendo, mientras que el pistón I también llevando la etiqueta hacia la zona de plastiflechado, adicionalmente se extienden los micropistones para que cuando la etiqueta que está sin doblar a medida que baje al tener los dobleces preestablecidos estos se extiendan como se observa en la Fig. 76.

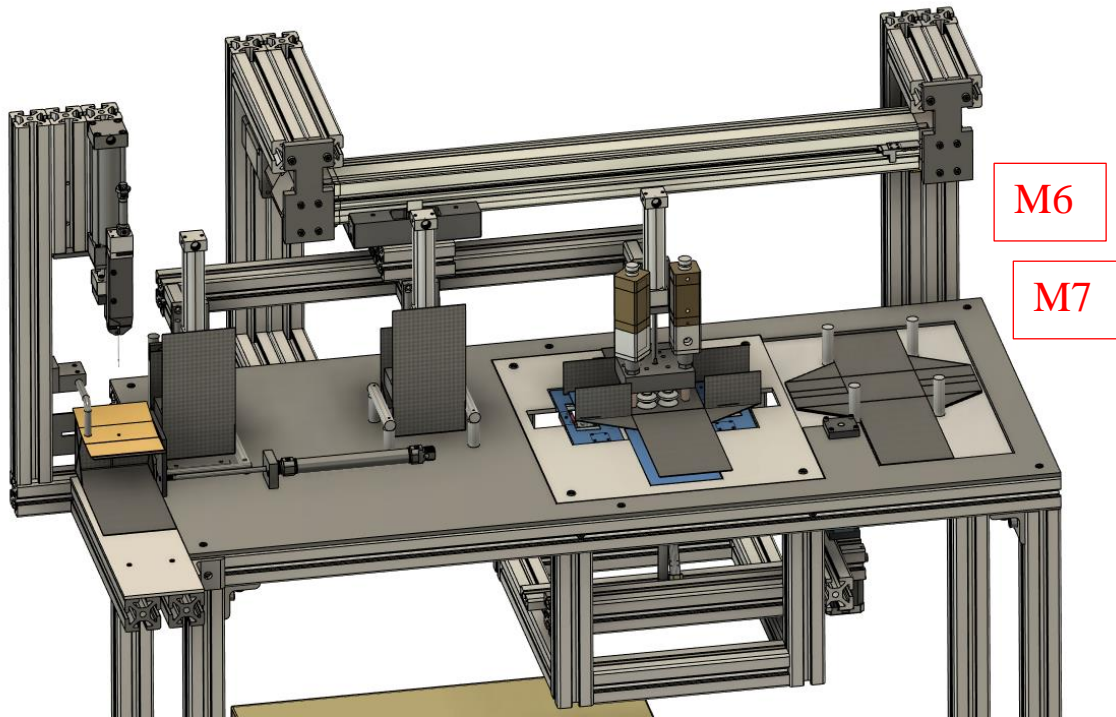


Fig. 76. Estado M6 y M7 de la secuencia.

Una vez los pistones del header están completamente extendidos y el pistón de secado contraído, se pasa al estado M7. El estado M7 consiste en activar la presión de los eyectores del header para liberar de la succión a las etiquetas. Para efectos visuales, el estado M7 y M6 son los mismos, puesto todos los actuadores se mantienen en la misma posición.

Ahora para comenzar con el doblado (estado M20), la transición del estado M7 y M20 se trata de un temporizador que controla cuánto dura el tiempo de “soplado” el eyector para liberar la etiqueta del vacío, una vez se cumpla este tiempo se cambia de estado.

En el estado M20 se contrae el pistón A, mientras que los otros actuadores mantienen su posición, esto para dar espacio a realizar el doblez. Lo anterior se observa en la Fig. 77.

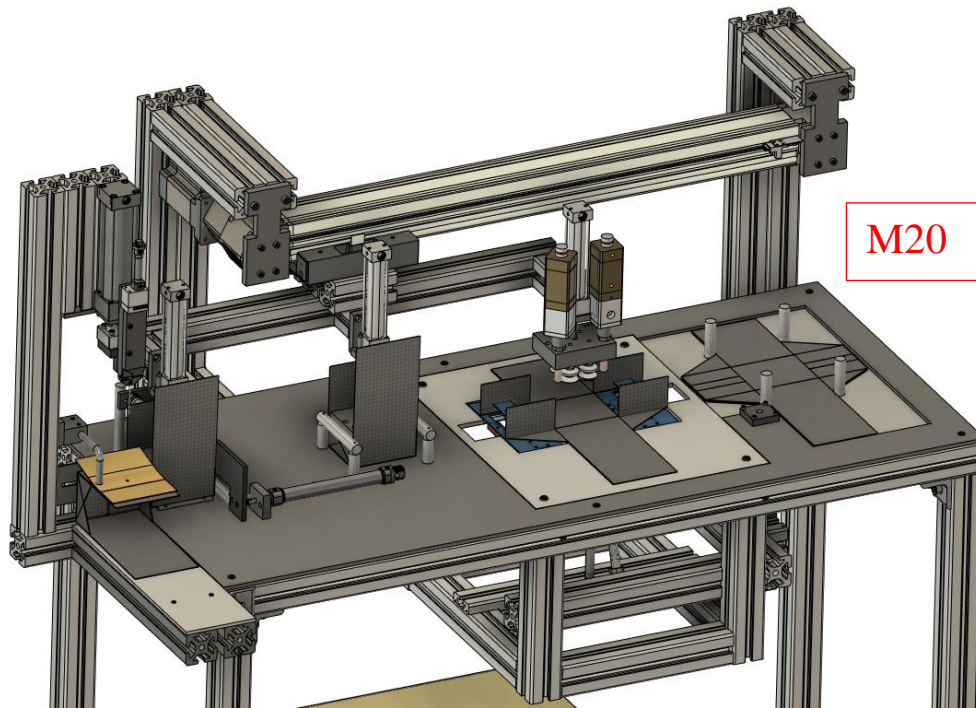


Fig. 77. Estado M20 de la secuencia.

Una vez, el pistón se contrae (esto es, se activa el sensor final de carrera A-) se inicia la transición hacia el estado M21, el cual consiste en mantener las salidas exactamente igual al estado anterior, con la diferencia que ya está actuando el pistón D, realizando el segundo doblar en la etiqueta, como se observa en la Fig. 78.

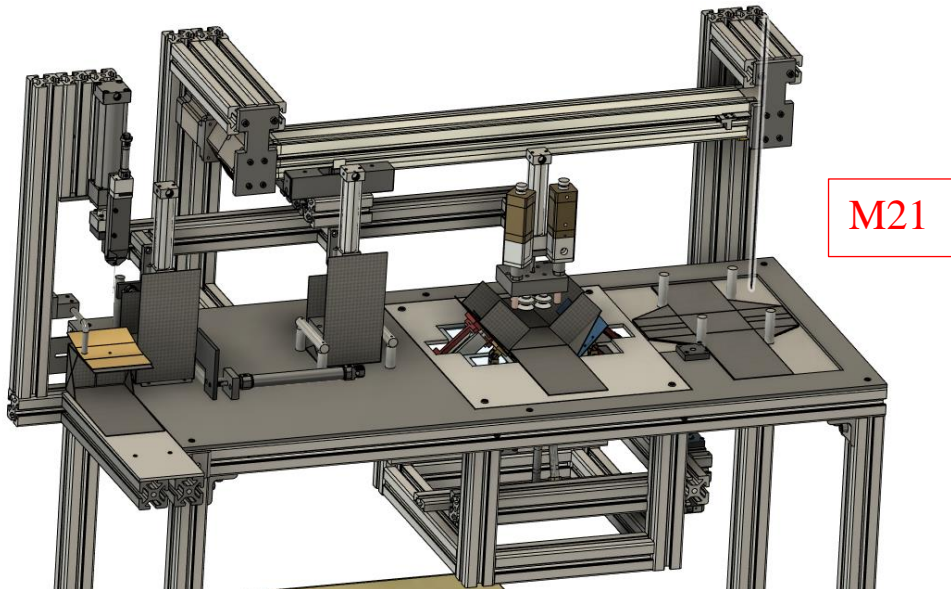


Fig. 78. Estado M21 de la secuencia.

Una vez se ha realizado completamente el doblado, que justamente coincide con que el pistón D alcance su posición extrema (se activa el final de carrera D+) se cambia de estado al estado M22. El estado M22 consiste en desplazar de nuevo el pistón A hacia abajo (extender A), también en este estado se contraen los pistones G y H, para asegurar que el pistón pueda bajar si hay un obstáculo esto se puede observar en la Fig. 79.

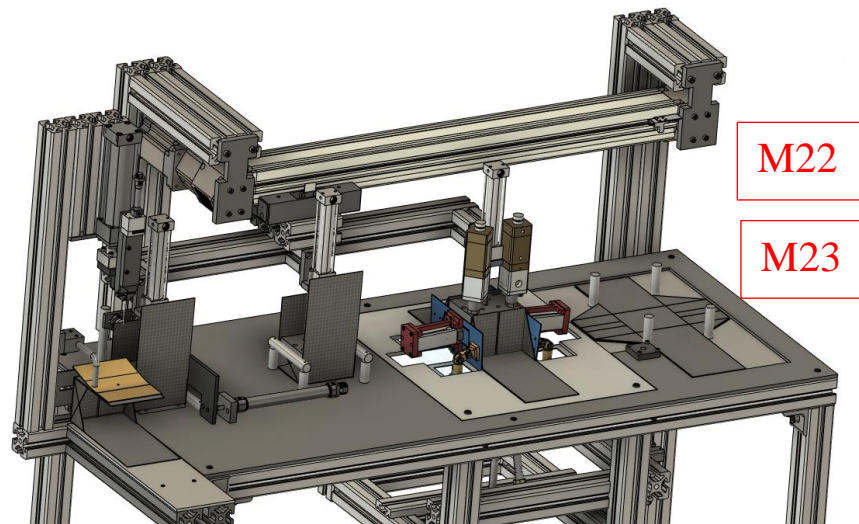


Fig. 79. Estado M22 y M23 de la secuencia.

Cuando el pistón se extiende completamente, se activa el final de carrera A+, además de asegurar que los pistones H, G y D estén extendidos (con sus finales de carrera para garantizar que sí esté bien doblada la etiqueta), se procede a cambiar al estado M23, el cual es un estado con las salidas en el mismo estado a excepción de la salida que controla el paso de pegamento, es decir que el estado M23 consiste en la inyección de pegamento. Para efectos visuales M22 y M23 se enseñan como el mismo en la Fig. 79.

La cantidad de inyección de pegamento se controlará con tiempo, ya que se considera que el módulo de pegado garantiza un flujo constante y uniforme, entonces con la activación de la señal un temporizador se cambia de estado.

En estado M24 los pistones A y E cambian de estado, el pistón A pasa a estar de nuevo retraído para dar paso al doblado, mientras que al mismo tiempo el pistón E está comenzando a hacer el tercer doblado de la parte superior de la etiqueta, lo anterior puede apreciarse en la Fig. 80

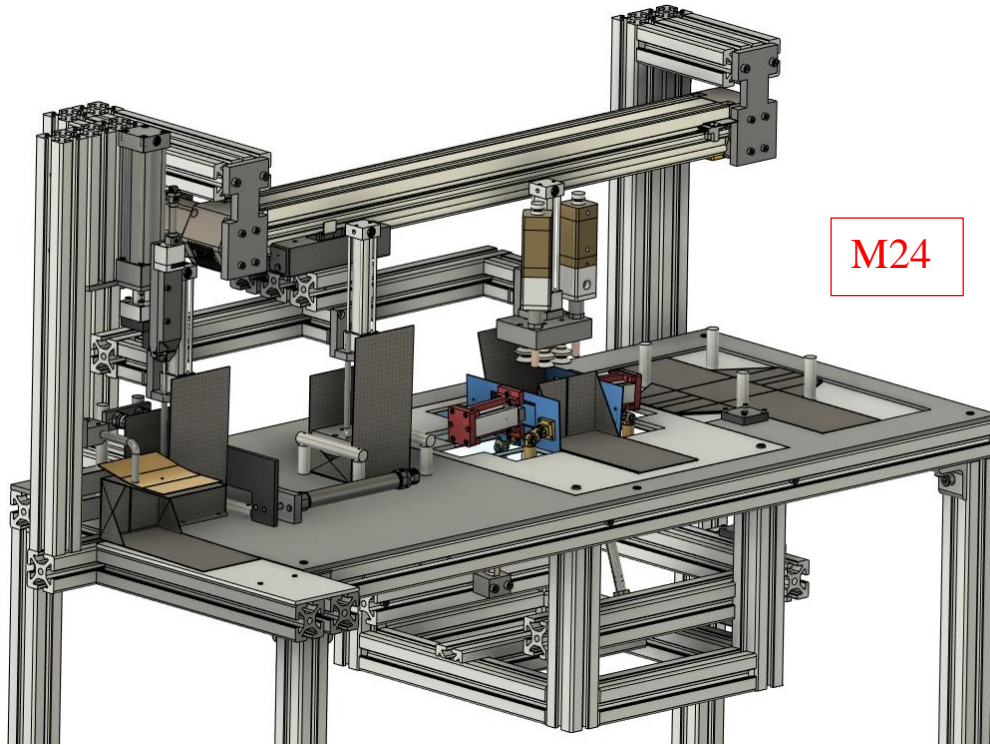


Fig. 80. Estado M24 de la secuencia principal.

Cuando se asegure que los sensores A-, D+, G, H (G y H se activan cuando el pistón esté retraído), E+ y A- estén activos, es decir que, A se contrajo y que E se extendió completamente, se puede realizar el cuarto doblado, en otras palabras, cambiar hacia el estado M25.

El estado M25 es exactamente igual al estado M24, con la diferencia que también que el pistón F está extendiéndose, llevando así acabo el ultimo doblado, como se enseña en la Fig. 81.

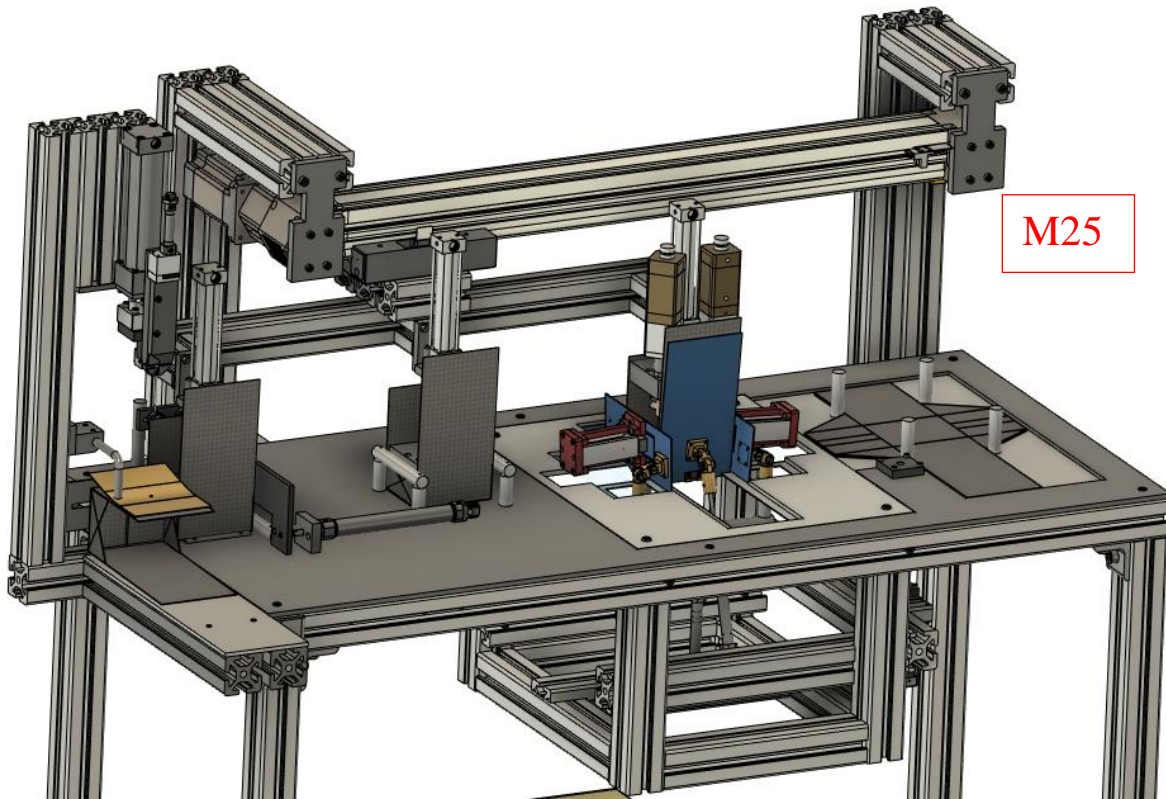


Fig. 81. Estado M25 de la secuencia principal.

Una vez se hizo el ultimo doblaje (se activó el sensor F+ ya que el pistón F se extendió completamente) y asegurando que el resto de los pistones del sistema de doblaje están extendidos y los micropistones contraídos, se procede a desplazar los pistones A y B hacia arriba, en el estado M26, esto se observa en la Fig. 82 .

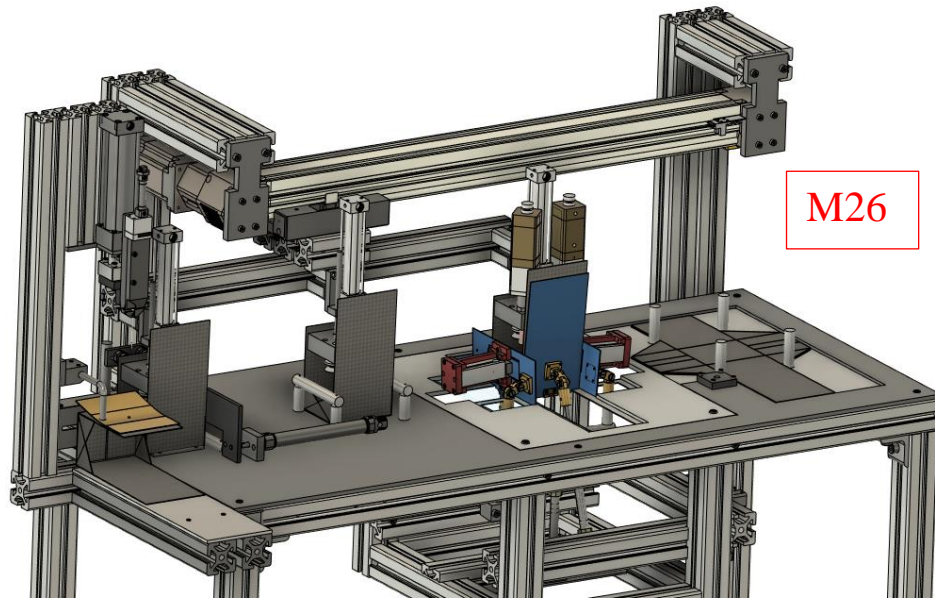


Fig. 82. Estado M26 de la secuencia principal.

Una vez los pistones de contraen, lo que significa que los sensores finales de carrear A- C- y B- se activan, se procede a cambiar de estado, es decir se pasa al estado M27.

En el estado M27 el FUYU se desplaza hacia la derecha (viendo la máquina desde una vista frontal), lo que implica activar el step del motor FUYU (realmente se realiza un PWM en este) e invertir su bit de dirección.

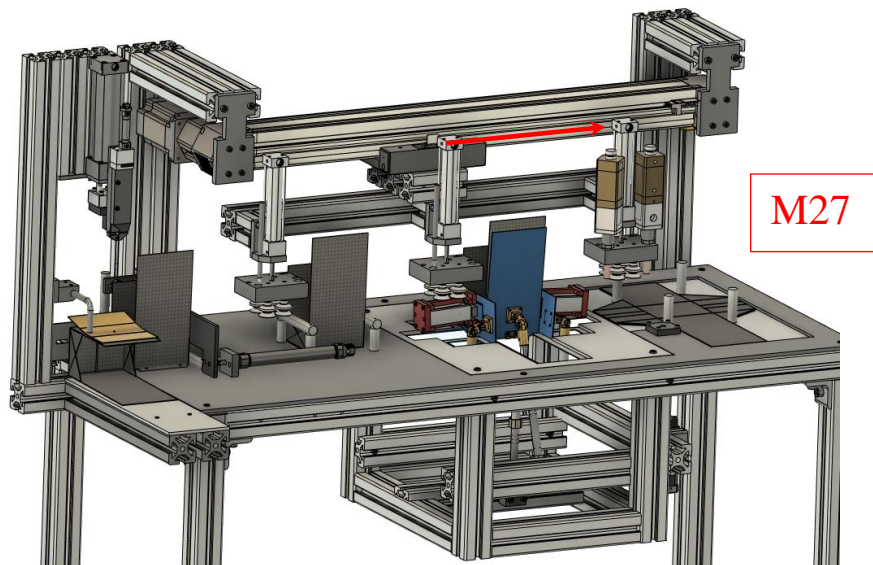


Fig. 83. Estado M27 de la secuencia principal.

La entrada que debe ser activada para que se cambie de estado debe ser el sensor final de carrera FUYU-, que es el final de carrera de la posición central de la máquina, esta posición se logra observar en la Fig. 84.

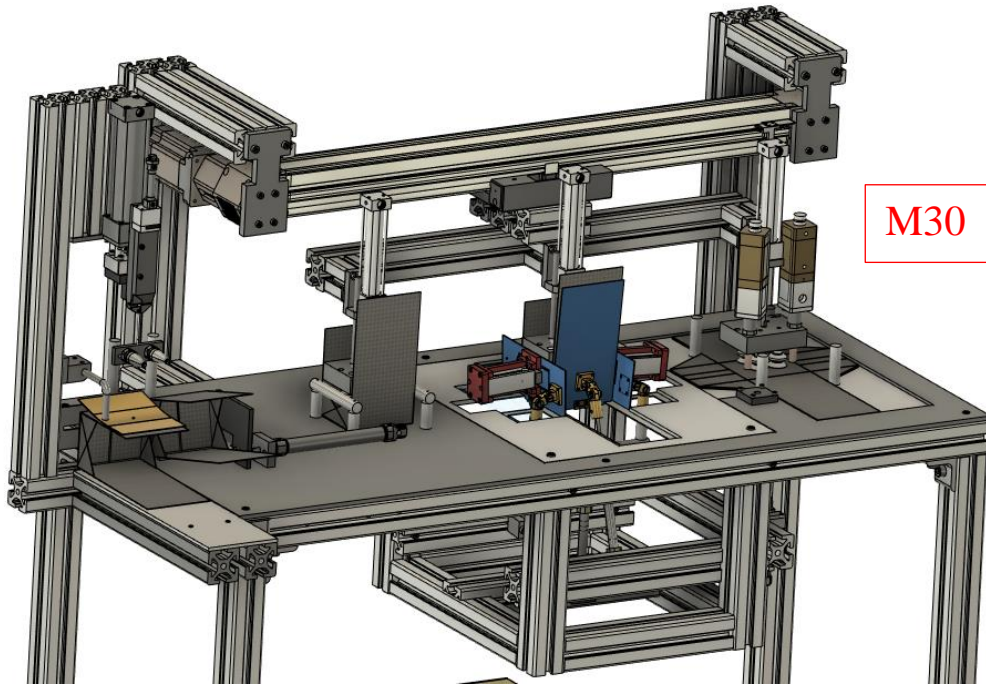


Fig. 84. Estado M30 de la secuencia principal.

En el estado M30, los pistones del header se están extendiendo para quedar en posición de arrastre para comenzar un nuevo ciclo, también en este estado se activa la electroválvula que deja pasar el aire a la tobera, para tumbar la etiqueta que se encuentra en la segunda estación de secado.

Después de este estado hay tres transiciones posibles,

- Cuando hay que poner las etiquetas en punto: Esto es cuando no se ha alcanzado determinado valor en un contador que indica que el motor paso a paso debe subir determinados pasos para dejar la etiqueta en posición, este valor de contador se puede ser cada dos o tres ciclos para que estas estén bien posicionadas para que la succión del pistón del header sea suficiente para sujetar y después desplazar la etiqueta. Luego de que la etiqueta esté en punto se transiciona al estado M1

De la Tabla 22 se resalta que el estado M33 es el estado luego de presionar el botón de paro de emergencia, realmente no importa en qué estado quedan todas las salidas, menos la y40 que es la electroválvula que controla el paso de aire a la máquina, cuando se presiona el botón de paro se desactiva esta válvula y deja sin aire el resto de los actuadores. Para salir de estado se debe dar start desde el HMI para volver al estado M1. La salida y41 hace referencia al control de la válvula del pegamento.

Es importante mencionar, que la salida y40, no se trata de una salida física como tal para el PLC que controlará la máquina, sino que esta representa la salida física del PLC que controla el paso o no de pegamento en el módulo de dosificación y pegado.

Otra anotación importante, es resaltar que en el caso del “step” del motor paso a paso y el motor del FUYU, cuando se pone “1” en la Tabla 22, se hace referencia a que se está activando el PWM para que el motor paso a paso funcione, no hace referencia explícitamente a que el step esté el 1. A pesar de lo anterior, para efectos prácticos esta simbología funciona, ya que, los softwares de los PLC facilitan y simplifican el control de los motores paso a paso y servomotores. Es importante también tener en cuenta que la salida de los “steps” debe ser salida a transistor, puesto que se tiene señales de alta frecuencia.

Teniendo conocimiento de cómo funciona la máquina se procede a plantear la red de Petri de la secuencia principal de la máquina.

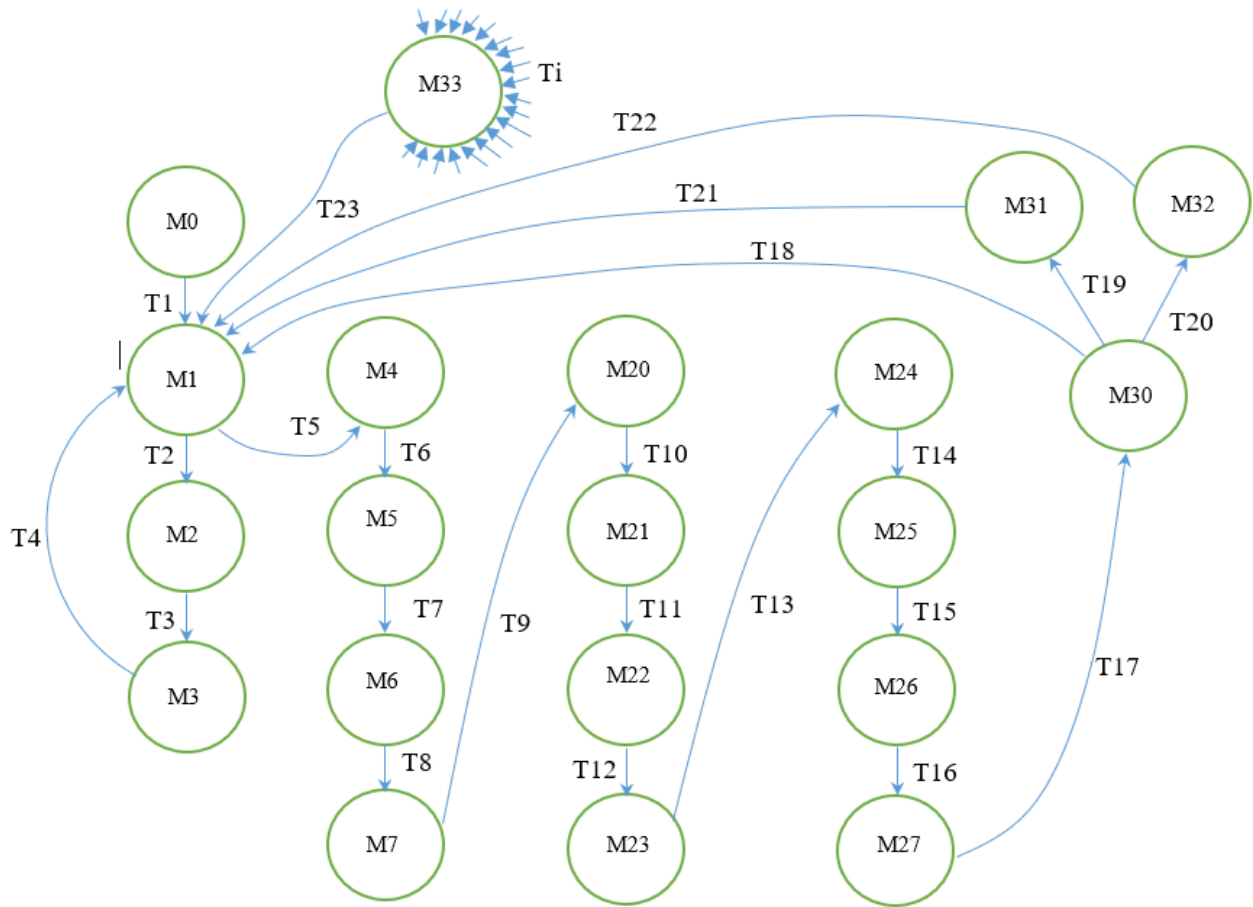


Fig. 85. Red de Petri de la secuencia principal.

Se resalta de la Fig. 85 que la transición T_i se puede dar en cualquiera de los 19 estados y lleva al estado 33, haciendo referencia al paro de emergencia.

La red de Petri permite plantear ahora las transiciones:

Tabla 25. Transiciones de la máquina.

#T	Entradas involucradas	Descripción
T1	x42	Botón encendido HMI
T2	x26	Botón plastiflechado
	x41	Sensor de barrera
T3	x24	Sensor J+
	x27	Sensor plastiflechadora +
T4	x30	Sensor plastiflechadora -
T5	x41	Sensor de barrera (negado)

MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.

137

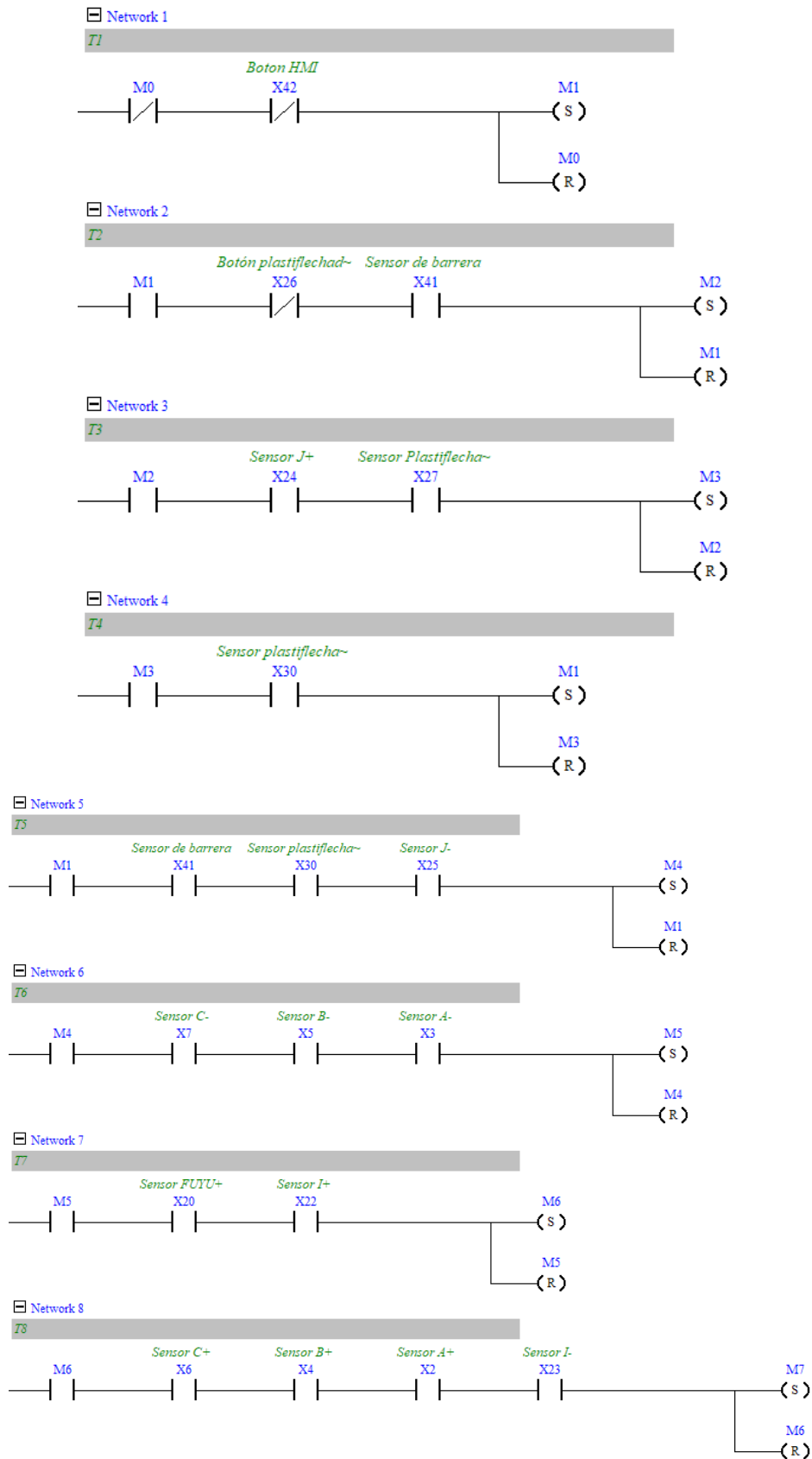
	x30	Sensor plastiflechadora -
	x25	Sensor J-
T6	x7	Sensor C-
	x5	Sensor B-
	x3	Sensor A-
T7	x20	Sensor FUYU+
	x22	Sensor I+
T8	x6	Sensor C+
	x4	Sensor B+
	x2	Sensor A+
	x23	Sensor I-
T9	TEMP1	Tiempo de soplador eyectores
T10	x7	Sensor C-
T11	x31	Sensor D+
T12	x6	Sensor C+
	x31	Sensor D+
	x37	Sensor G
	x40	Sensor H
T13	TEMP2	Tiempo inyección pegamento
	x7	Sensor C-
	x31	Sensor D+
	x37	Sensor G
	x40	Sensor H
T14	x7	sensor C-
	x31	Sensor D+
	x37	Sensor G
	x40	Sensor H
	x33	Sensor E+
T15	x7	sensor C-
	x31	Sensor D+
	x37	Sensor G
	x40	Sensor H
	x33	Sensor E+
	x35	Sensor F+
T16	x7	Sensor C-
	x5	Sensor B-
	x3	Sensor A-
	x33	Sensor E+
	x35	Sensor F+
T17	x21	FUYU-
T18	x6	Sensor C+
	x4	Sensor B+

	x2	Sensor A+
	x43	Contador1 -
T19	x6	Sensor C+
	x4	Sensor B+
	X2	Sensor A+
	x43	Contador1 +
T20	x3	Sensor C+
	x5	Sensor B+
	x2	Sensor A+
	x44	Contador2+
T21	TEMP3	Tiempo de reposición etiquetas
T22	x45	Botón de magazín
T_i	x0	Botón emergencia
T23	x42	botón encendido HMI

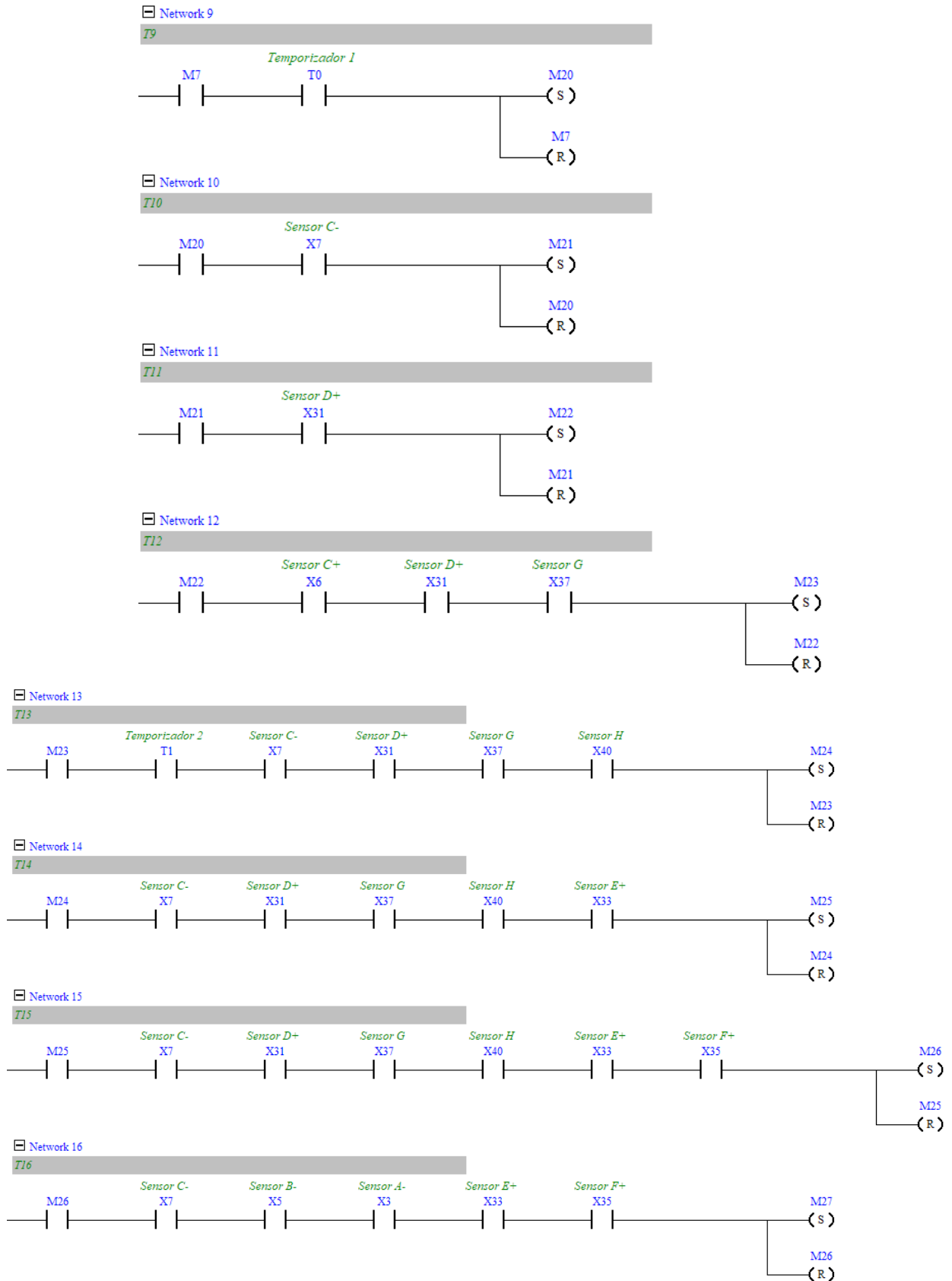
Toda la información anterior permite realizar un programa para controlar la máquina en el PLC seleccionado.

K. Código Ladder para control de la máquina.

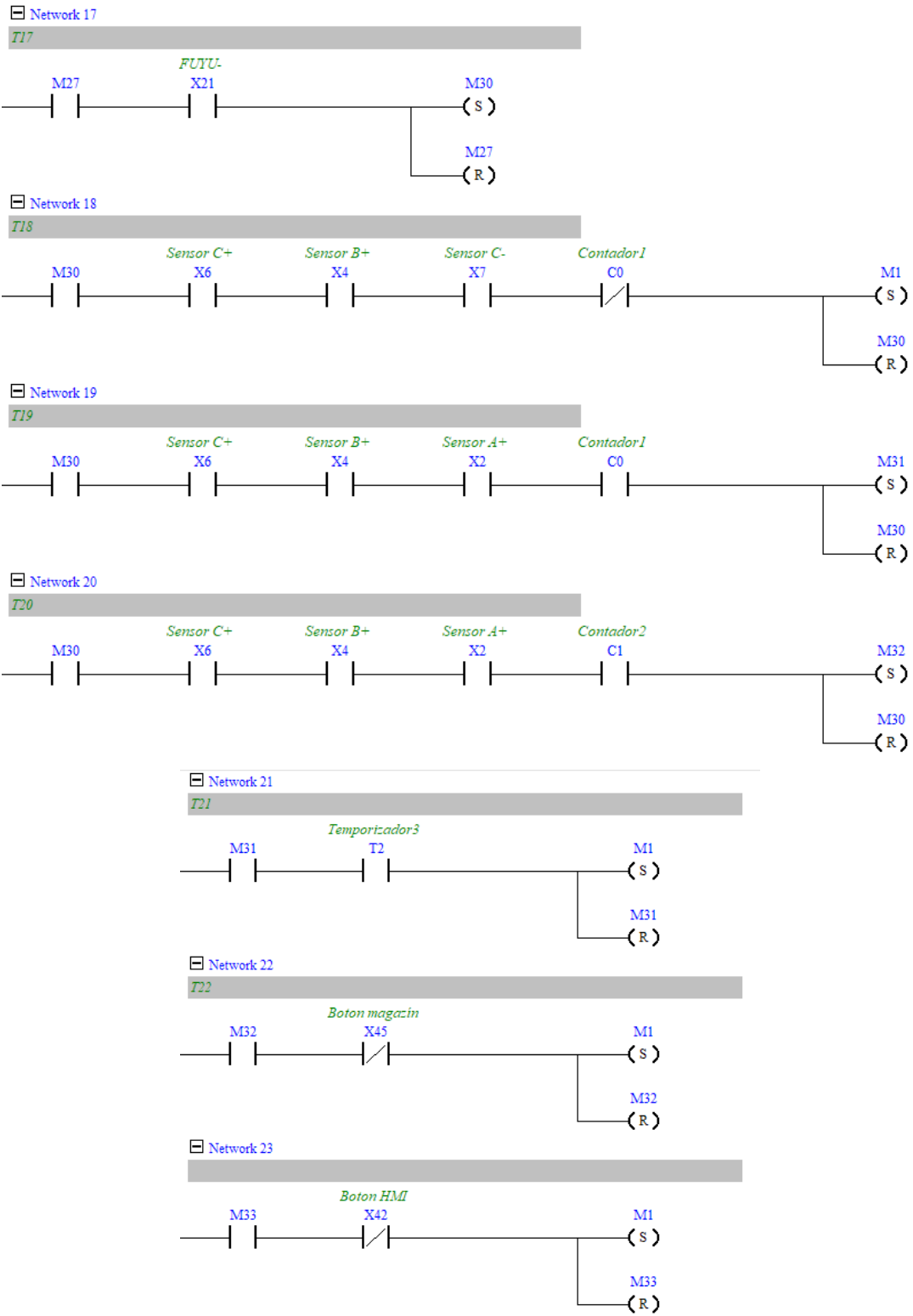
A continuación, se presentará el código Ladder realizado en el software ISPSOft. Este código resume toda la información del control de la máquina.



MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.



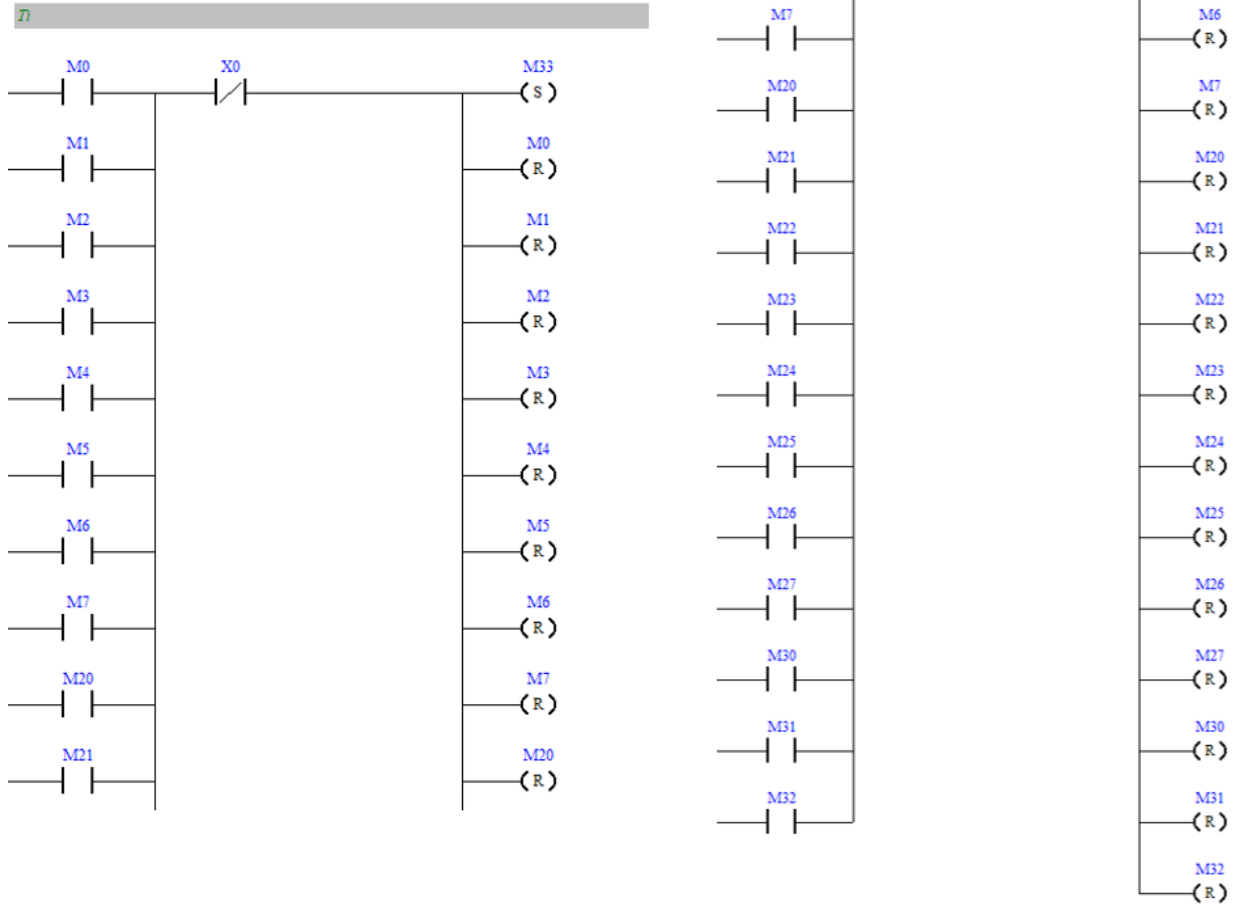
MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.



MÁQUINA DE DOBLAJE DE ETIQUETA: DISEÑO DE MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA EL DOBLAJE, PEGADO Y PLASTIFLECHADO DE ETIQUETA-CABALLETE DE CARTÓN.

142

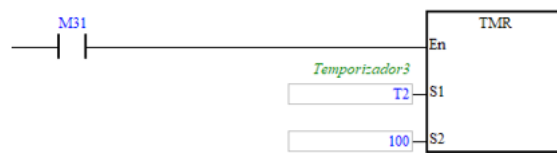
Network 24



Network 25



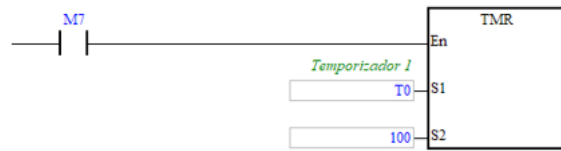
Network 26

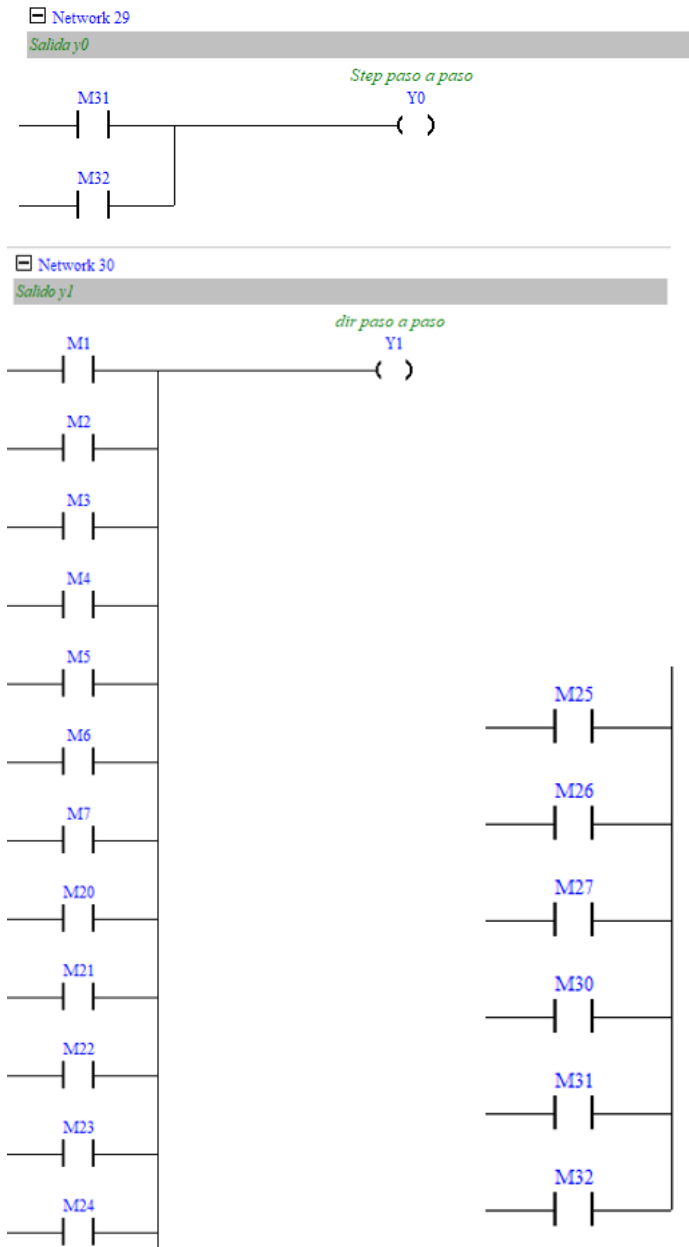


Network 27



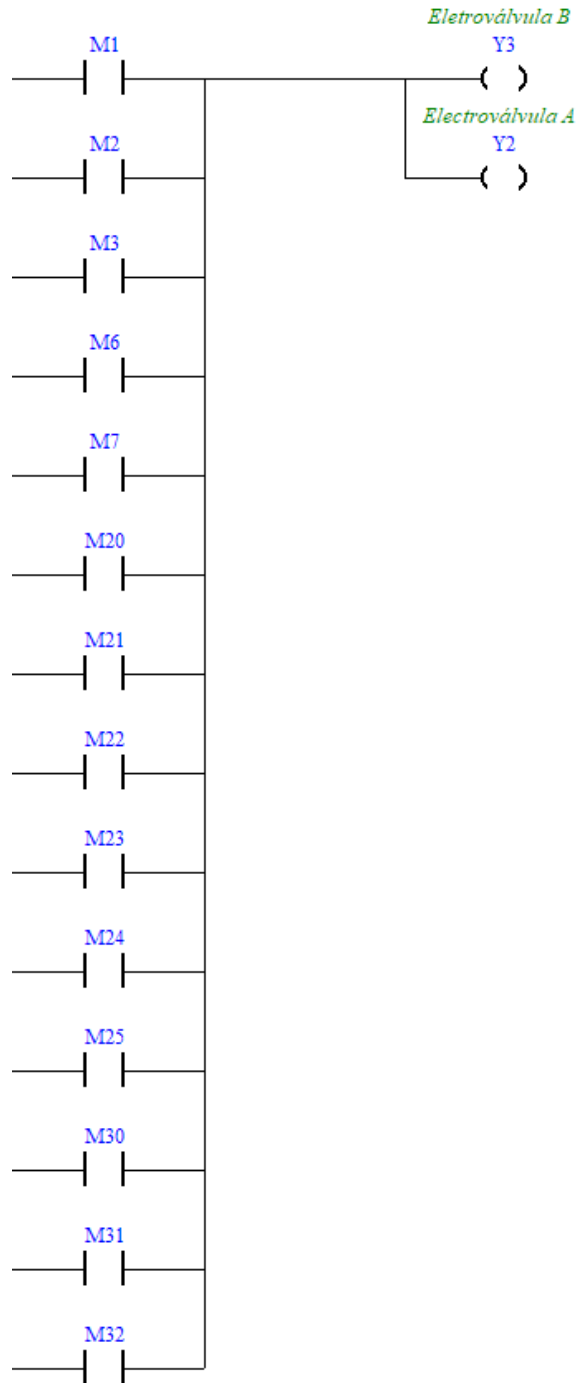
Network 28





Network 31

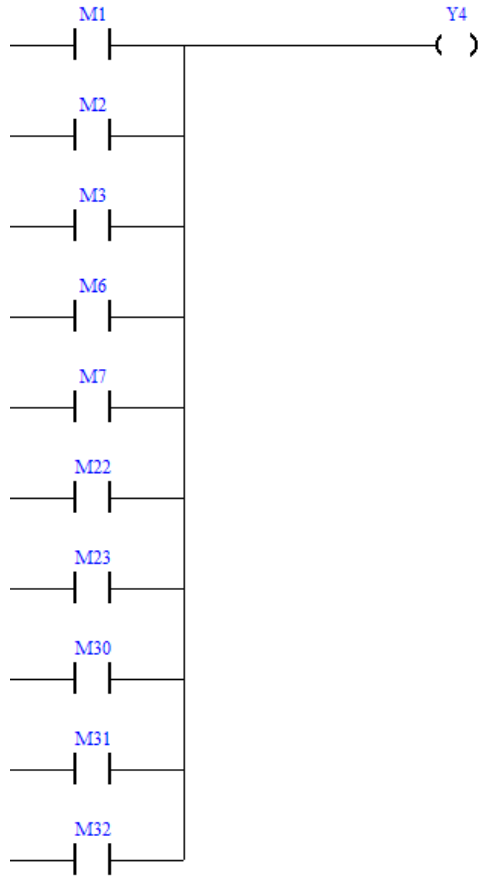
salida y2 y y3



Network 32

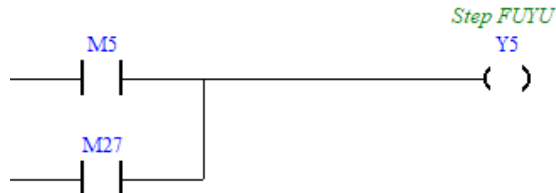
salida y4

Electroválvula C



Network 33

salida y5



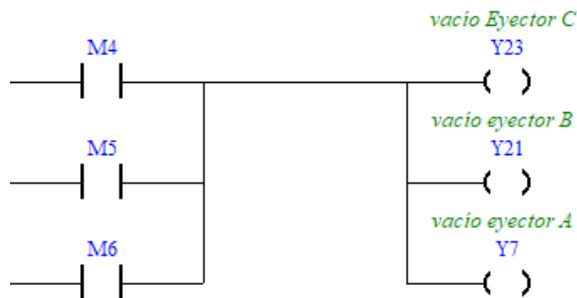
Network 34

salida y6



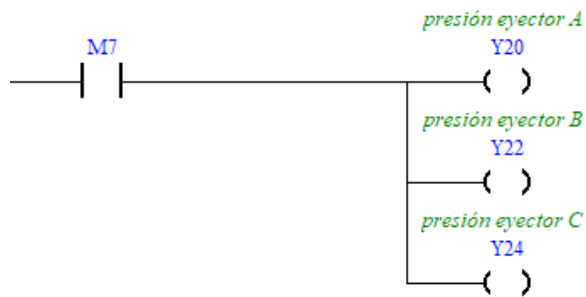
Network 35

salida y7, y21 y 23



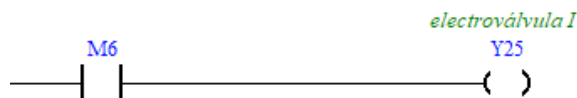
Network 36

Salida y20,y22 y y24



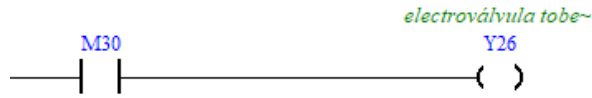
Network 37

salida y25



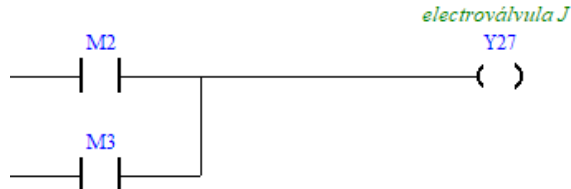
Network 38

salida y26



Network 39

salidas y27



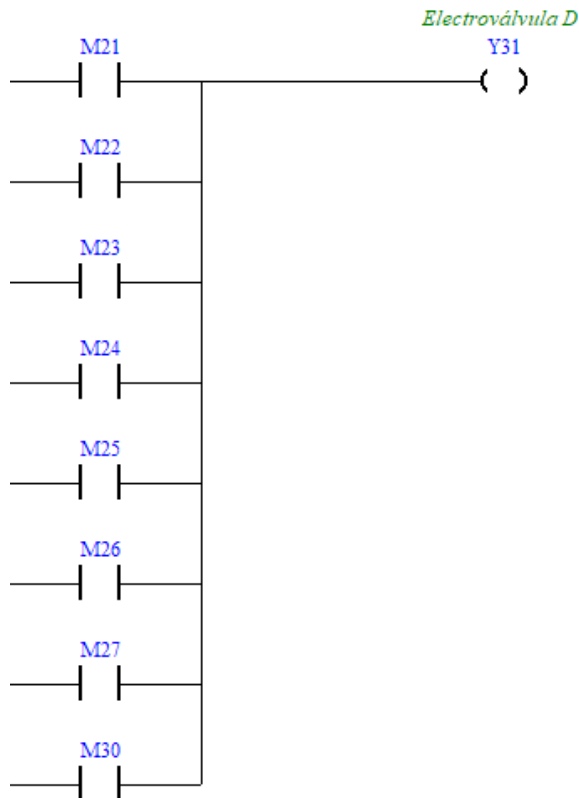
Network 40

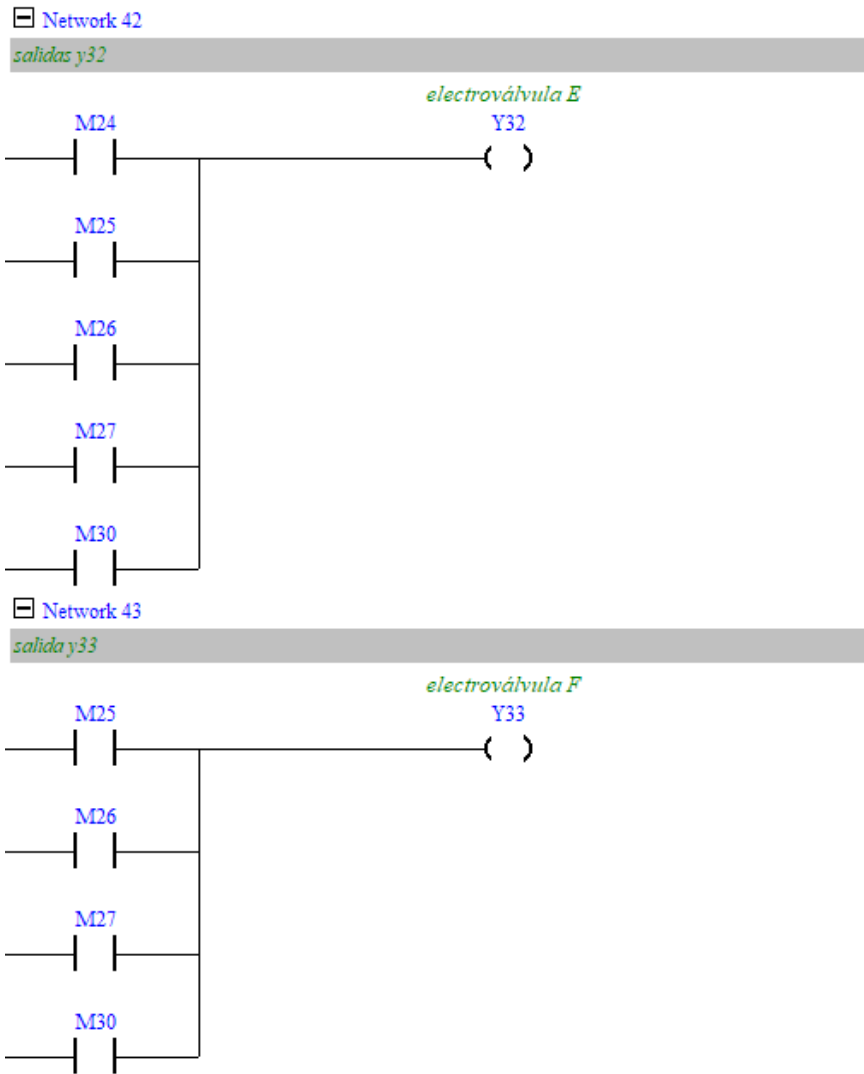
salida y30



Network 41

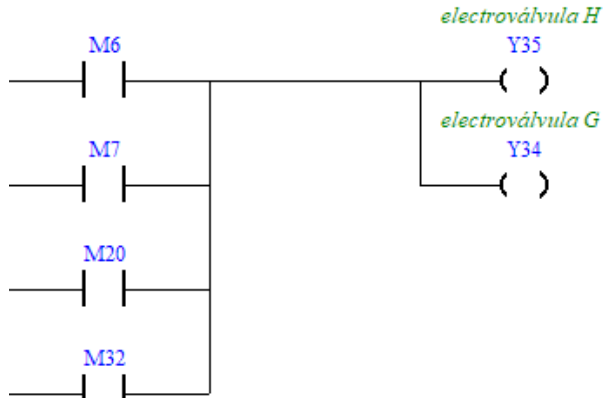
salidas y31





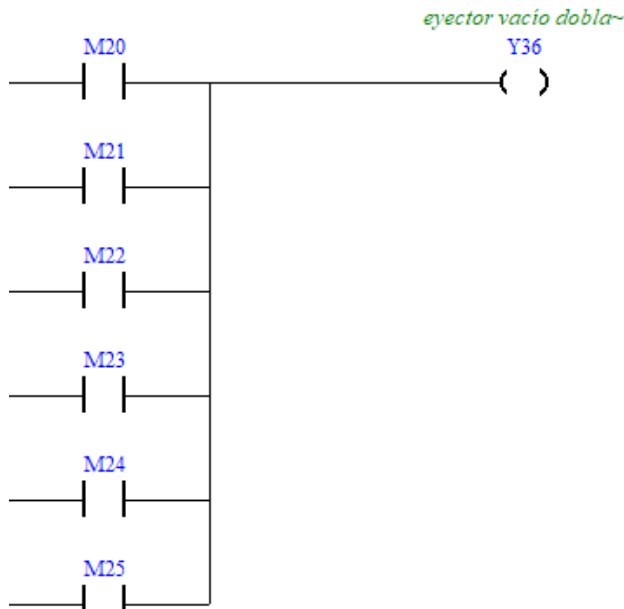
Network 44

salidas y34 y y35



Network 45

salida y36



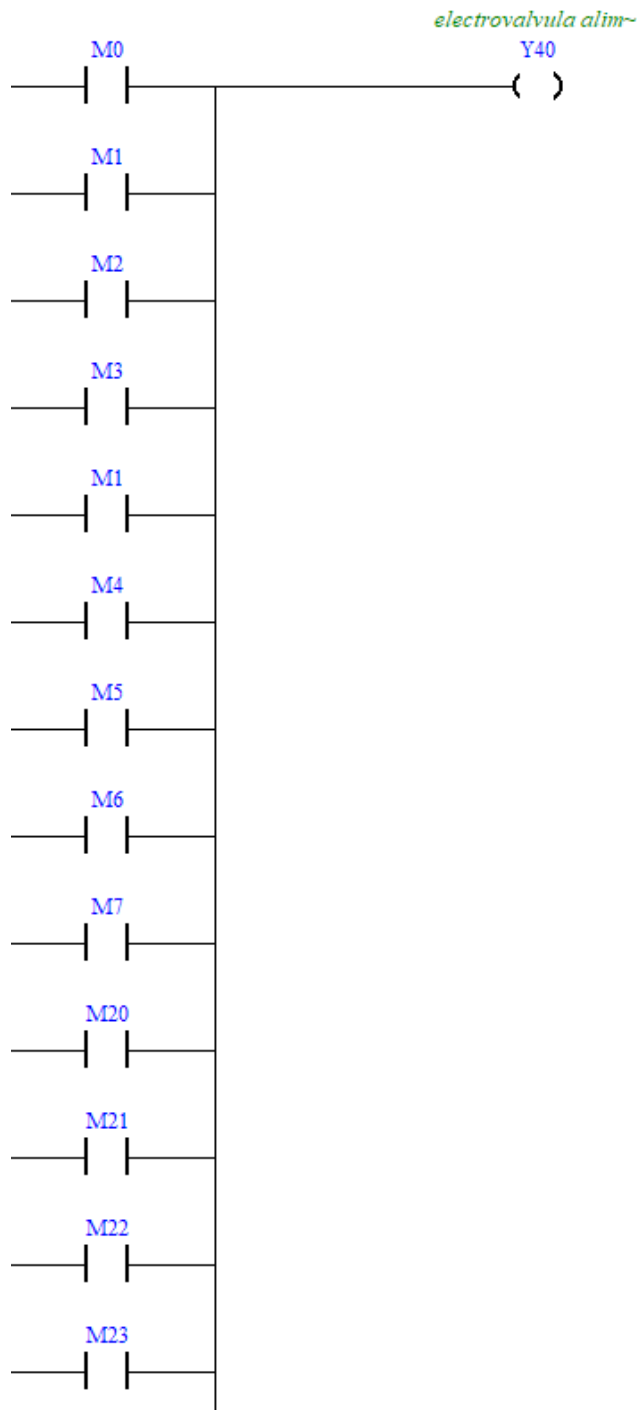
Network 46

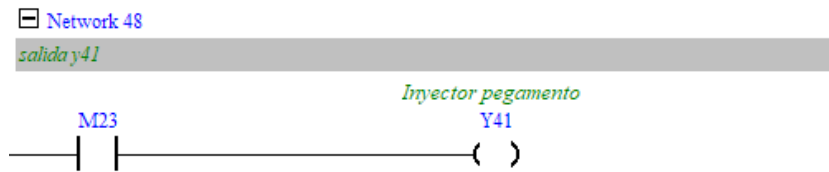
salida y37



Network 47

salida y40





VIII. DISCUSIÓN

El diseño de la máquina desarrollado en este proyecto cumplir con las expectativas inicialmente planteadas. Sin embargo, uno de los aspectos menos destacados del diseño es su costo relativamente alto, siendo el módulo de pegado el componente que más incrementa este costo. Este hallazgo sugiere que una alternativa viable sería el diseño de un sistema de dispensación de pegamento hot melt, el cual podría reducir significativamente los costos de la máquina y mejorar su eficiencia.

La máquina es fiable mecánicamente, alcanzando factores de seguridad elevados en términos de resistencia mecánica. Esto asegura que el equipo podrá operar de manera segura y eficiente bajo las condiciones de trabajo esperadas. Además, la elección de perfiles para la construcción de la máquina contribuye a su versatilidad, permitiendo realizar ajustes y modificaciones con relativa facilidad. Se logró un diseño modular que facilita el mantenimiento, lo cual es una ventaja significativa en términos de operatividad y longevidad del equipo.

Otro punto para destacar es la simplicidad del diseño en términos de programación y operación. La máquina es relativamente sencilla de programar y sus dimensiones moderadas la hacen adecuada para el trabajo que se pretende. La velocidad de producción, determinada principalmente por el tiempo de secado del pegamento hot melt (EVA HMA), es de aproximadamente 15 segundos, lo que permite un ritmo de producción alto. El caso más ideal, se realiza un paquete completo cada 15 segundos, se obtendrá 240 paquetes por hora, alcanzando así la productividad esperada.

La construcción con elementos comerciales y la utilización de procesos de manufactura como el mecanizado convencional y la impresión 3D facilitarán la fabricación del prototipo, priorizando materiales como el aluminio y el PLA. La garantía de que todos los elementos son

comercializables, mecanizables y/o imprimibles en 3D asegura que el tiempo de fabricación y ensamblaje sea menor a 4 meses.

Finalmente, aunque se logró un diseño óptimo utilizando la metodología de análisis de alternativas, algunas de las tareas restantes el plantear el plano eléctrico y la programación del HMI, las cuales representan oportunidades de mejora para futuros desarrollos. El reto más significativo será el diseño de un nuevo módulo de pegado, tarea que podría ser asumida por el equipo de ingeniería de la empresa, optimizando así el diseño final de la máquina. La utilización de uniones no permanentes en el diseño es muy positiva, ya que permite hacer ajustes, mantenimiento y modificaciones de manera fácil y rápida.

IX. CONCLUSIONES

En resumen, el proyecto logró diseñar una máquina que cumple con las expectativas en términos de fiabilidad, versatilidad y sencillez. A pesar de su costo relativamente alto, principalmente debido al módulo de pegado, se identificó una posible mejora mediante la implementación de un sistema de dispensación de pegamento hot melt, lo que podría reducir los costos.

La máquina destaca por su robustez mecánica, con altos factores de seguridad que garantizan su funcionamiento seguro. La construcción modular con perfilería permite ajustes y modificaciones fáciles, haciendo del equipo una solución flexible para diversas aplicaciones industriales. Además, al ser una máquina modular, se tiene fácil mantenimiento que aumenta la operatividad y la vida útil de la máquina. La simplicidad en la programación y las dimensiones moderadas del equipo facilitan su integración en diferentes entornos de trabajo, mientras que la sensórica implementada ofrece múltiples posibilidades de automatización en caso de que se requiera mejorar el equipo.

La utilización de materiales y procesos de fabricación accesibles, como el aluminio, el PLA, el mecanizado convencional y la impresión 3D, permitió diseñar funcional con componentes comerciales. La garantía de que todos los elementos son comercializables, mecanizables y/o imprimibles en 3D asegura que el tiempo de fabricación y ensamblaje sea menor a 4 meses. Aunque quedan pendientes el cableado eléctrico y la programación del HMI, el diseño logrado es altamente viable y aprovechable, especialmente considerando que muchos de los elementos de diseño ya están disponibles en el almacén de la empresa.

En conclusión, el proyecto ha demostrado la viabilidad de la máquina diseñada y ha establecido un camino claro para futuras mejoras y optimizaciones, particularmente en el diseño del módulo de pegado.

La experiencia dentro de la empresa representó un avance profesional significativo para el practicante. Esta permitió al estudiante enfrentar problemas industriales, desarrollando sus

habilidades prácticas y profundizando en sus conocimientos teóricos en diseño, manejo de CAD, neumática, automatización, entre otros. El estudiante tuvo que adaptarse al trabajo en equipo y multidisciplinario, colaborando con ingenieros mecánicos, de control, electrónicos, ingenieros de diseño industrial y mecánicos con alta experiencia dentro de la industria. Esta interacción no solo incrementó las habilidades blandas del ingeniero en formación, como la comunicación y el trabajo en equipo, sino que también le proporcionó una visión más amplia e integral de la ingeniería. La diversidad de perspectivas y enfoques presentes en el equipo de trabajo permitió al estudiante aprender diferentes metodologías y técnicas, enriqueciendo su formación y preparación para desafíos futuros.

La formación académica proporcionada por la universidad fue fundamental para enfrentar los problemas y desafíos dentro de la industria. Las materias de dibujo técnico y diseño asistido por computadora (CAD) fueron especialmente relevantes, proporcionando las herramientas necesarias para realizar diseños precisos y eficientes. Además, los conocimientos adquiridos en resistencia de materiales y automatización jugaron un papel crucial en la capacidad del estudiante para analizar y mejorar procesos industriales. Esta experiencia práctica sirvió como un puente sólido entre la formación universitaria y el entorno laboral, permitiendo al estudiante aplicar sus conocimientos teóricos en situaciones reales y desarrollar habilidades prácticas esenciales. La integración de teoría y práctica no solo reafirmó la pertinencia de lo aprendido en la universidad, sino que también preparó al estudiante para una transición exitosa y efectiva de la academia a la industria, facilitando su inserción en el mundo profesional y promoviendo un desarrollo continuo y sostenido.

REFERENCIAS

- [1] C. S. IMQ. “¿Cada cuántos años es recomendable cambiar de trabajo?” Canal Salud - IMQ. Accedido el 7 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://canalsalud.imq.es/blog/recomendable-cambiar-trabajo/>
- [2] “¿Por qué tantos Millenials y Gen Z están saltando de trabajo en trabajo?” Observatorio / Instituto para el Futuro de la Educación. Accedido el 7 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://observatorio.tec.mx/edu-news/job-hopping-millennials-y-gen-z-estando-saltando-de-trabajo-en-trabajo/>
- [3] ACOFI | Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería. Accedido el 8 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.acofi.edu.co/wp-content/uploads/2014/03/Generalidades_Disenio.pdf
- [4] Métodos de diseño: estrategias para el diseño de productos. Limusa Wiley, 2005.
- [5] joinedk. Automatic lid and base box folding machine. (16 de febrero de 2019). Accedido el 11 de marzo de 2024. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=L-g2XqC25C4>
- [6] Chiossi e Cavazzuti Srl. Speedy-T | T-SHIRT Folding and Packaging Machine. (19 de septiembre de 2016). Accedido el 12 de marzo de 2024. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=gGILr4Ftdfc>.
- [7] David Yang. Corrugated carton box auto folder gluer machine. (29 de junio de 2016). Accedido el 12 de marzo de 2024. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=z5EbX1dLfLA>.
- [8] IMANPACKItaly. Box forming/closing machines and cartoning machine - TRF2000 + MCTN2000 (by Imanpack). (4 de febrero de 2016). Accedido el 12 de marzo de 2024. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=T0LC0ISNsGA>.
- [9] Plastiflecha estándar. Accedido el 7 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://emarint.com.mx/product/plastiflecha-estandar-em-mps/>.
- [10] Colaboradores de los proyectos Wikimedia. “Acetato de polivinilo - Wikipedia, la enciclopedia libre”. Wikipedia, la enciclopedia libre. Accedido el 10 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Acetato_de_polivinilo.
- [11] “Hot Melt Adhesive”. WinLong(IWG wood glue)Adhesive Manufacturer. Accedido el 10 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.internetwoodglue.com/hot-melt%20adhesive/?gad_source=1&gclid=EAIAIQobChMIYCK_eXxhQMVjLBaBR1yzA2IEAAYASAAEgKutfD_BwE.
- [12] “EVA & PO Hot Melt Adhesive | Our Technologies | Bostik US”. Adhesive Technologies | Industrial, Construction and DIY Adhesives | Bostik Global. Accedido el 10 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.bostik.com/us/en_US/our-adhesive-technologies/hot-melt-adhesives-hmeva/.

-
- [13] “Hot Melt Adhesive”. WinLong(IWG wood glue)Adhesive Manufacturer. Accedido el 10 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.internetwoodglue.com/hot-melt%20adhesive/?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMI1YCK_eXxhQMVjLbaBR1yzA2IEAAYASAAEgKutfD_BwE.
- [14] “Adhesivos hot melt”. Global Entry Page. Accedido el 10 de julio de 2024. [En línea]. Disponible:<https://www.henkel-adhesives.com/co/es/productos/adhesivos-industriales/adhesivos-hot-melt.html>.
- [15] “World leaders in hot melt adhesives | Power Adhesives”. World leaders in hot melt adhesives | Power Adhesives. Accedido el 10 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.poweradhesives.com/>.
- [16] “¿Qué es la automatización? | IBM”. IBM in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Accedido el 8 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.ibm.com/es-es/topics/automation>.
- [17] “Comprar Unidades de mantenimiento online | Festo CO”. www.festo.com. Accedido el 4 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.festo.com/co/es/c/productos/automatizacion-industrial/preparacion-del-aire-comprimido/unidades-de-mantenimiento-id_pim142/ .
- [18] “SMC CD85N10-50-B cyl, iso, dbl act, sw capable”. www.smc Pneumatics.com. Accedido el 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.smc Pneumatics.com/CD85N10-50-B.html>.
- [19] “SMC CDUK16-15T-XC34 cyl, free mt, non rot, sgl/act, CU COMPACT CYLINDER”. www.smc Pneumatics.com. Accedido el 10 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.smc Pneumatics.com/CDUK16-15T-XC34.html> .
- [20] “Free CAD Designs, Files & 3D Models | The GrabCAD Community Library”. GrabCAD Making Additive Manufacturing at Scale Possible. Accedido el 1 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://grabcad.com/library/industrial-electrical-panel-painel-eletrico-industrial-1>.
- [21] “Riel DIN ranurado 1 metro”. Didácticas Electrónicas. Accedido el 1 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: https://didacticaselectronicas.com/index.php/component/virtuemart/view/productdetails/virtuemart_product_id/11975/virtuemart_category_id/627