



**ESPE**  
**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**Diseño y construcción de una máquina plegadora de canal para incrementar la producción de letras acanaladas para la empresa IDEART ubicada en Ambato**

Loaiza Jiménez, Carlos Leovaldo

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

24 de agosto del 2023

Latacunga



## Plagiarism and AI Content Detection Report

### TRABAJO DE TITULACIÓN Carlos Loi...

#### Scan details

Scan time:  
August 24th, 2023 at 19:35 UTC

Total Pages:  
71

Total Words:  
17686

#### Plagiarism Detection



9.7%

| Types of plagiarism |      | Words |
|---------------------|------|-------|
| Identical           | 2.4% | 429   |
| Minor Changes       | 2.8% | 500   |
| Paraphrased         | 4.4% | 786   |
| Omitted Words       | 0%   | 0     |

#### AI Content Detection



3.2%

| Text coverage |       | Words |
|---------------|-------|-------|
| AI text       | 3.2%  | 486   |
| Human text    | 96.8% | 14500 |

[Learn more](#)

#### Alerts: (1)

##### Cross Language: Same Document Language

Submitted language and cross-language text are the same language. No credits were used.

2/5 Severity



#### Plagiarism Results: (31)

##### Copyleaks Internal Database

5.8%

CARLOS LEOVALDO LOAIZA JIMENEZ

No introduction available.

##### Conceptos básicos del plegado de chapa - Deformac...

1.7%

<https://www.interempresas.net/deformacion-y-chapa/articul...>

Toggle navigation ...

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

CC: 0503354029



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**  
**Carrera de Mecatrónica**

### **Certificación**

Certifico que el trabajo de integración curricular: "Diseño y construcción de una máquina plegadora de canal para incrementar la producción de letras acanaladas para la empresa IDEART ubicada en Ambato" fue realizado por el señor **Loaiza Jiménez, Carlos Leovaldo**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 24 de agosto del 2023

**Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly**

CC: 0503354029



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**  
**Carrera de Mecatrónica**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **Loaiza Jiménez, Carlos Leovaldo** con cédula de ciudadanía No 0704509363, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **"Diseño y construcción de una máquina plegadora de canal para incrementar la producción de letras acanaladas para la empresa IDEART ubicada en Ambato"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 24 de agosto del 2023

**Loaiza Jiménez Carlos Leovaldo**

CC: 0704509363



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**  
**Carrera de Mecatrónica**

**Autorización de Publicación**

Yo, Loaiza Jiménez, Carlos Leovaldo con cédula de ciudadanía No 0704509363, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: "Diseño y construcción de una máquina plegadora de canal para incrementar la producción de letras acanaladas para la empresa IDEART ubicada en Ambato" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 24 de agosto del 2023

Loaiza Jiménez, Carlos Leovaldo

CC: 0704509363

## Dedicatoria

*Este trabajo se lo dedico a mis padres Carlos y Anita, quienes me han dado todo su apoyo incondicional durante todo este tiempo y han estado presentes en cada paso que doy a lo largo de mi vida, ellos me han guiado hasta este punto y me han formado con grandes principios y valores los cuales me han servido para culminar con éxito esta etapa de mi vida.*

*También dedico este trabajo a mi hermano Kelvin, quien me ha apoyado y motivado cada día para seguirme superando.*

*Así mismo, dedico este logro a mi querida novia Fernanda quien ha estado animándome y acompañando en el transcurso de este camino.*

**Carlos Loaiza Jiménez**

## **Agradecimiento**

*Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y a sus docentes por formarme tanto a nivel profesional como personal y por permitirme concluir mis estudios superiores.*

*Deseo agradecer a la empresa IDEART y al Ing. Gustavo Cruz, gerente de la empresa, por darme la oportunidad de poder realizar este presente trabajo de titulación en sus instalaciones y brindarme una visión más completa acerca de un entorno real y laboral.*

*De igual forma, agradezco profundamente a la Ing. Patricia Constante por irme guiando a lo largo de este trabajo. Sus conocimientos, orientación y observaciones técnicas han sido piezas muy claves para el desarrollo de este proyecto.*

**Carlos Loaiza Jiménez**

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

|   |    |
|---|----|
| Carátula.....                             | 1  |
| Reporte de verificación de contenido..... | 2  |
| Certificación .....                       | 3  |
| Responsabilidad de Autoría .....          | 4  |
| Autorización de Publicación.....          | 5  |
| Dedicatoria .....                         | 6  |
| Agradecimiento.....                       | 7  |
| Índice de contenidos .....                | 8  |
| Índice de tablas.....                     | 12 |
| Índice de figuras .....                   | 13 |
| Resumen.....                              | 15 |
| Abstract .....                            | 16 |
| Capítulo I: Marco Teórico.....            | 17 |
| Introducción.....                         | 17 |
| Objetivos .....                           | 18 |
| <i>Objetivo General</i> .....             | 18 |
| <i>Objetivos Específicos</i> .....        | 18 |
| Hipótesis .....                           | 19 |
| <i>Variable independiente</i> .....       | 19 |
| <i>Variable dependiente</i> .....         | 19 |
| Técnica de doblado de metales .....       | 19 |

|  |    |
|--|----|
| <i>Técnica de doblado con plegadora</i> .....              | 20 |
| Máquina plegadora.....                                     | 21 |
| <i>Partes de una máquina plegadora</i> .....               | 22 |
| Tipos de máquinas plegadoras.....                          | 23 |
| <i>Plegadora manual</i> .....                              | 23 |
| <i>Plegadora mecánica</i> .....                            | 24 |
| <i>Plegadora hidráulica</i> .....                          | 25 |
| <i>Plegadora hidra – mecánica</i> .....                    | 26 |
| <i>Plegadora CNC</i> .....                                 | 28 |
| <i>Plegadora de letras acanaladas</i> .....                | 29 |
| Proceso de plegado .....                                   | 30 |
| <i>Tipos de plegado</i> .....                              | 31 |
| <i>Factores que influyen en el plegado</i> .....           | 32 |
| Capítulo II Diseño mecánico de la plegadora de canal ..... | 34 |
| Diseño de concepto .....                                   | 34 |
| <i>Definición de las necesidades del cliente</i> .....     | 34 |
| <i>Generación de la arquitectura de la plegadora</i> ..... | 36 |
| Diseño de la estructura mecánica .....                     | 37 |
| Sistema del mecanismo actuador .....                       | 45 |
| Eje Z.....   | 50 |
| Selección del software generador de trayectoria .....      | 56 |

|   |           |
|---|-----------|
|   | 10        |
| <b>Capítulo III Diseño eléctrico y electrónico.....</b>                         | <b>60</b> |
| <b>Establecimiento de los parámetros del motor .....</b>                        | <b>60</b> |
| <i>Parámetros para los motores de los ejes Z y A.....</i>                       | <i>60</i> |
| <i>Parámetros para el motor del eje X.....</i>                                  | <i>61</i> |
| <b>Selección de los motores, drivers y microcontrolador .....</b>               | <b>62</b> |
| <i>Selección de los motores .....</i>   | <i>62</i> |
| <i>Selección de drivers.....</i>  | <i>66</i> |
| <i>Selección del microcontrolador .....</i>                                     | <i>67</i> |
| <b>Conexión de los componentes eléctricos y electrónicos .....</b>              | <b>68</b> |
| <b>Firmware del microcontrolador .....</b>                                      | <b>69</b> |
| <b>Capítulo IV Implementación de la máquina plegadora.....</b>                  | <b>71</b> |
| <b>Implementación de los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos.....</b> | <b>71</b> |
| <b>Configuración de los motores .....</b>                                       | <b>73</b> |
| <b>Alimentación del sistema eléctrico – electrónico .....</b>                   | <b>78</b> |
| <b>Montaje final de la máquina plegadora de canal .....</b>                     | <b>81</b> |
| <b>Capítulo V Pruebas y Resultados.....</b>                                     | <b>84</b> |
| <b>Prueba del código generado para verificar la trayectoria .....</b>           | <b>84</b> |
| <b>Plegado de letras acanaladas .....</b>                                       | <b>88</b> |
| <b>Corrección de error en la medidas plegadas .....</b>                         | <b>93</b> |
| <b>Validación de hipótesis .....</b>  | <b>94</b> |
| <b>Capítulo VI Conclusiones y recomendaciones .....</b>                         | <b>99</b> |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>Conclusiones</b> .....    | <b>99</b>  |
| <b>Recomendaciones</b> ..... | <b>101</b> |
| <b>Bibliografía</b> .....    | <b>102</b> |
| <b>Anexos</b> .....          | <b>106</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1</b> <i>Necesidades del cliente</i> .....  | 34 |
| <b>Tabla 2</b> <i>Métricas</i> .....   | 35 |
| <b>Tabla 3</b> <i>Sistemas y subsistemas</i> .....   | 37 |
| <b>Tabla 4</b> <i>Propiedades mecánicas del ASTM A36</i> .....   | 39 |
| <b>Tabla 5</b> <i>Evaluación de los requerimientos para el sistema del mecanismo actuador</i> .....            | 45 |
| <b>Tabla 6</b> <i>Criterios de selección para el sistema del mecanismo actuador</i> .....                      | 47 |
| <b>Tabla 7</b> <i>Elementos del sistema mecanismo actuador</i> .....   | 49 |
| <b>Tabla 8</b> <i>Parámetros de los motores de los ejes Z y A</i> .....  | 60 |
| <b>Tabla 9</b> <i>Parámetros del motor del eje X</i> .....   | 61 |
| <b>Tabla 10</b> <i>Criterios de selección y alternativas para la selección de motores de los ejes Z y A</i> .. | 63 |
| <b>Tabla 11</b> <i>Criterios de selección y alternativas para la selección del motor del eje X</i> .....       | 64 |
| <b>Tabla 12</b> <i>Criterios de selección y alternativas para la selección del driver</i> .....                | 66 |
| <b>Tabla 13</b> <i>Resultado de código para verificar la trayectoria</i> .....                                 | 86 |
| <b>Tabla 14</b> <i>Escala de calificación</i> .....  | 89 |
| <b>Tabla 15</b> <i>Prueba de calidad y velocidad de las letras plegadas</i> .....                              | 89 |
| <b>Tabla 16</b> <i>Corrección de las medidas plegadas</i> .....  | 93 |
| <b>Tabla 17</b> <i>Comparación de producción de las letras acanaladas</i> .....                                | 95 |
| <b>Tabla 18</b> <i>Tabla de frecuencias teóricas</i> .....   | 96 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>Figura 1</b>  | <i>Partes de una máquina dobladora Helfer modelo PMG 2040 x 2.5</i>           | 22 |
| <b>Figura 2</b>  | <i>Plegadora manual marca PROFI de 1 x 610 mm</i>                             | 24 |
| <b>Figura 3</b>  | <i>Prensa plegadora mecánica marca Cyril Bath modelo 15010</i>                | 25 |
| <b>Figura 4</b>  | <i>Plegadora hidráulica marca Heller modelo PCB63x2000</i>                    | 26 |
| <b>Figura 5</b>  | <i>Plegadora hidra-mecánica</i>   | 27 |
| <b>Figura 6</b>  | <i>Plegadora CNC marca Yangli modelo HB1032</i>                               | 28 |
| <b>Figura 7</b>  | <i>Máquina plegadora de letras acanaladas marca XQL modelo NL130</i>          | 29 |
| <b>Figura 8</b>  | <i>Propuesta de diseño de la máquina plegadora</i>                            | 36 |
| <b>Figura 9</b>  | <i>Dimensiones de la estructura mecánica</i>                                  | 38 |
| <b>Figura 10</b> | <i>Diagrama de cuerpo libre de una de las vigas de la estructura mecánica</i> | 40 |
| <b>Figura 11</b> | <i>Sección del tubo cuadrado</i>  | 42 |
| <b>Figura 12</b> | <i>Alternativas para el sistema del mecanismo actuador</i>                    | 47 |
| <b>Figura 13</b> | <i>Sistema del mecanismo actuador con método de doblado por arrastre</i>      | 48 |
| <b>Figura 14</b> | <i>Mecanismo de transmisión mediante polea dentada</i>                        | 51 |
| <b>Figura 15</b> | <i>Diseño de rodillo</i>  | 53 |
| <b>Figura 16</b> | <i>Placa biselada</i>   | 55 |
| <b>Figura 17</b> | <i>Unión de las bases biseladas</i>   | 55 |
| <b>Figura 18</b> | <i>Software GRBL GRU V5.1</i>   | 57 |
| <b>Figura 19</b> | <i>Motor paso a paso NEMA 23</i>  | 64 |
| <b>Figura 20</b> | <i>Motor paso a paso NEMA 17</i>  | 65 |
| <b>Figura 21</b> | <i>Driver para motor paso a paso TB6600</i>                                   | 67 |
| <b>Figura 22</b> | <i>Tarjeta de control MACH3 USB 4 ejes</i>                                    | 68 |
| <b>Figura 23</b> | <i>Conexión de los componentes</i>  | 69 |
| <b>Figura 24</b> | <i>Software Mach3</i>   | 70 |
| <b>Figura 25</b> | <i>Diagrama de comunicación</i>   | 70 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 26</b> <i>Implementación del motor paso a paso NEMA 23 del eje Z</i> .....                   | 71 |
| <b>Figura 27</b> <i>Conexión del motor con el driver y la tarjeta de control</i> .....                 | 72 |
| <b>Figura 28</b> <i>Implementación de los motores para los ejes X y A</i> .....                        | 72 |
| <b>Figura 29</b> <i>Conexión de los motores con los drivers y la tarjeta de control</i> .....          | 73 |
| <b>Figura 30</b> <i>Diagrama de flujo del proceso de sintonización de los motores</i> .....            | 74 |
| <b>Figura 31</b> <i>Ventana de selección para comunicación con la tarjeta de control</i> .....         | 75 |
| <b>Figura 32</b> <i>Opción "Port and Pins"</i> .....   | 75 |
| <b>Figura 33</b> <i>Ventana de configuración de la velocidad Kernel</i> .....                          | 76 |
| <b>Figura 34</b> <i>Ventana de habilitación de los ejes</i> .....                                      | 76 |
| <b>Figura 35</b> <i>Opción "Motor Tuning"</i> .....  | 77 |
| <b>Figura 36</b> <i>Configuración de los velocidades de los motores</i> .....                          | 77 |
| <b>Figura 37</b> <i>Ventana de ingreso manual de código G</i> .....                                    | 78 |
| <b>Figura 38</b> <i>Calibres de cables comerciales</i> .....   | 79 |
| <b>Figura 39</b> <i>Fuente de alimentación de 24 V y 15 A</i> .....                                    | 80 |
| <b>Figura 40</b> <i>Conexión del sistema eléctrico-electrónico con la fuente de alimentación</i> ..... | 80 |
| <b>Figura 41</b> <i>Fabricación de la estructura mecánica</i> .....                                    | 81 |
| <b>Figura 42</b> <i>Implementación del eje Z</i> .....   | 81 |
| <b>Figura 43</b> <i>Implementación de los ejes X y A</i> .....   | 82 |
| <b>Figura 44</b> <i>Implementación de los componentes eléctricos y electrónicos</i> .....              | 82 |
| <b>Figura 45</b> <i>Montaje final de la máquina plegadora</i> .....                                    | 83 |
| <b>Figura 46</b> <i>Proceso para la generación de código G</i> .....                                   | 85 |
| <b>Figura 47</b> <i>Prueba de la trayectoria generada</i> .....  | 85 |
| <b>Figura 48</b> <i>Letras corregidas</i> .....  | 94 |
| <b>Figura 49</b> <i>Valor en la tabla de distribución de Chi-cuadrado</i> .....                        | 97 |

## Resumen

El presente trabajo se centra en desarrollar una máquina plegadora con el fin de aumentar la producción de letras acanaladas en la empresa IDEART. Para alcanzar este propósito, primero se clasificó el diseño en tres subsistemas los cuales constan de un sistema mecánico, sistema eléctrico y electrónico y un sistema generador de trayectorias. Dentro del sistema mecánico se encuentra el diseño de la estructura mecánica de dimensiones 1000x300x900 la cual fue fabricada bajo las normas NTE INEN 1641 y NTE INEN 2415, un mecanismo actuador que está conformado por dos ejes, X y A, que están encargados de realizar el doblado de materiales con un espesor máximo de 0.7 mm y una altura de hasta 7 cm, además cuenta con un eje Z que tiene la función de realizar la extrusión de material mediante el uso de rodillos y placas biseladas. En el sistema eléctrico y electrónico se detalla los parámetros de los motores que se implementaron en los ejes definidos, la selección y conexión de los motores, drivers y el microcontrolador. Una vez realizado los últimos dos sistemas, se procede con la implementación de la máquina para continuar con el sistema generador de trayectorias, el cual consiste en el uso de dos softwares, en donde en el primer programa GRBL GRU se proyecta el perfil de la letra que se desea fabricar y genera el código G de la trayectoria para que posteriormente, este código sea cargado en el software Mach3 de la tarjeta de control para realizar la comunicación con los drivers y los motores. Se realizó las pruebas correspondientes con la máquina para verificar el correcto funcionamiento y que esta alternativa competitiva sea lo suficientemente eficiente para la fabricación de letras acanaladas. Como última instancia, el objetivo del presente proyecto es proporcionar una solución innovadora y que sea altamente eficaz para contribuir en el progreso de la empresa.

*Palabras clave:* máquina plegadora, producción de letras, letras acanaladas, generación de trayectorias, mecanismo actuador

### **Abstract**

The present work is focused on the development of a bending machine to increase the production of ribbed letters at IDEART. To achieve this purpose, the design was first classified into three subsystems which consist of a mechanical system, an electrical and electronic system and a trajectory generator system. Within the mechanical system is the design of the mechanical structure of dimensions 1000x300x900 which was manufactured under the standards NTE INEN 1641 and NTE INEN 2415, an actuator mechanism that consists of two axes, X and A, which are in charge of bending materials with a maximum thickness of 0.7 mm and a height of up to 7 cm, it also has a Z axis that has the function of extruding the material through the use of rollers and beveled plates, also has a Z axis that has the function of performing the extrusion of material through the use of rollers and beveled plates. The electrical and electronic system details the parameters of the motors that were implemented in the defined axes, the selection and connection of the motors, drivers and the microcontroller. Once the last two systems were completed, we proceeded with the implementation of the machine to continue with the trajectory generator system, which consists of the use of two softwares, where the first program GRBL GRU projects the profile of the letter to be manufactured and generates the G code of the trajectory so that later, this code is loaded into the Mach3 software of the control card to communicate with the drivers and motors. The corresponding tests were performed with the machine to verify the correct operation and that this competitive alternative is sufficiently efficient for the manufacture of ribbed letters. Ultimately, the objective of this project is to provide an innovative and highly efficient solution to contribute to the progress of the company.

*Key words:* bending machine, letter production, ribbed letters, trajectory generation, actuating mechanism system.

## Capítulo I

### Marco Teórico

#### Introducción

Las máquinas plegadoras son aquellas que realizan un proceso doblar chapa sin la necesidad de eliminar material y con una deformación controlada hasta alcanzar el ángulo deseado. Actualmente, estas máquinas se han convertido en una herramienta de gran importancia en el proceso de deformación de metales. (Mercado, 2022)

El plegado de metal es un proceso crucial dentro de la producción de diversas industrias manufactureras, en especial, en la fabricación de productos metálicos. Existen líneas en serie automatizadas de plegadoras, lo cual se traduce en una reducción en el tiempo de fabricación y un aumento en la producción.

Según (Feysama, 2019) el proceso del plegado de la chapa se basa en doblarla hasta lograr la forma deseada, lo cual consiste en la creación de ángulos y curvas que darán la forma a la pieza final. Este conformado de la chapa se realiza sin la necesidad de arranque de material, debido a que se dobla sobre sí misma para obtener la forma final. Para lograr esto, se requiere de una fuerza mecánica considerable, lo cual se logrará mediante el uso de una máquina plegadora. (SOME, 2020)

Las máquinas plegadoras ofrecen las grandes ventajas de que requieren poco mantenimiento y se operan con bastante facilidad. Como estas máquinas entregan un buen resultado de doblado de chapa; la soldadura de la misma se podrá realizar con mayor comodidad y en un tiempo menor. Debido a la calidad de los resultados que ofrecen estas máquinas, son utilizadas en diferentes ramas de la industria como, por ejemplo, en la arquitectura para la creación de láminas para techos. (Heller, 2020)

Actualmente, existen diferentes tipos de plegadoras que son utilizadas para realizar múltiples tareas como doblar, perforar o entallar chapas, barras y tubos. También sirven para enderezar perfiles defectuosos y perforar chapas o tubos. Las máquinas plegadoras van mejorando significativamente con la incorporación de sistemas de control que ayudan a mejorar la precisión de sus resultados.

En el caso de la empresa IDEART, la cual está ubicada en la ciudad de Ambato y está dedicada a la publicidad, se encuentra el inconveniente de no contar con una máquina plegadora, que por la información entregada se conoce que mensualmente producen de 200 a 300 letras acanaladas aproximadamente para la publicidad dentro de la misma ciudad, siendo cada una diferente en formato y tamaño a la anterior por lo cual son cortadas mediante láser, router CNC y soldadas a mano por los operarios, quienes también hacen el trabajo de doblar su fondo de letra. Siendo un trabajo que se lo realiza manualmente, conlleva más tiempo del que podría tomar si se utilizara un proceso automatizado que aumentaría la producción del mismo. En base a esta información, una máquina plegadora ayudaría a la empresa a aumentar su productividad y además como es una herramienta de nueva generación, ayudaría a los operarios a relacionarse con estas nuevas tecnologías.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

- Diseñar y construir una máquina plegadora de canal para incrementar la producción de letras acanaladas para la empresa IDEART en la ciudad de Ambato.

### ***Objetivos Específicos***

- Diseñar la estructura mecánica de la plegadora en función a normativa vigente
- Seleccionar los componentes eléctricos y electrónicos de la plegadora con base a las necesidades establecidas.

- Construir la máquina plegadora y realizar pruebas de funcionalidad de los componentes mecánicos y eléctricos
- Implementar un sistema de control numérico computarizado a los actuadores de la máquina plegadora de canal
- Utilizar una interfaz de usuario para monitoreo y operación de la máquina plegadora de canal

### **Hipótesis**

¿Es posible mediante una máquina plegadora de canal incrementar la producción de letras acanaladas en la empresa IDEART ubicada en la ciudad de Ambato?

### ***Variable independiente***

Máquina plegadora de canal

### ***Variable dependiente***

Incremento de la producción de letras acanaladas

### **Técnica de doblado de metales**

Todas las actividades con chapas se realizan en frío. Una de estas, es el doblado, el cual se refiere a la modificación de la chapa o lámina para adquiriera un ángulo específico respecto a un eje en el que usualmente es recto.

El doblado es un proceso de manipulación del metal, el cual se basa en la aplicación de una fuerza a una lámina de metal para doblarla con la forma y el ángulo deseado. Este proceso por lo general se lo realiza en un solo eje, pero si se repite varias veces esta operación, dará como resultado la formación de piezas más complejas. (Cortés, 2013)

El proceso de doblado es uno de los más simples para conformar metales y varios de los productos que se requieren fabricar, deben atravesar por una o varias operaciones de

doblado para alcanzar la forma deseada. Durante el proceso de doblado, se debe tener la precaución de que la placa metálica no genere ningún tipo de alargamiento debido a que puede afectar en el resultado de la pieza o se produzca algún tipo de rotura en el material. (Salazar, 2019)

Existen varias técnicas de doblado de metal, las cuales se clasifican dependiendo de la fuerza que se va aplicar en el proceso, como lo son: técnica de doblado en V, técnica de doblado por compresión, técnica de doblado parcial o de borde, técnica de doblado por estampación, técnica de doblado por arrastre, entre otros. (Cortés, 2013)

Hay que tener en cuenta que, para cualquier técnica de doblado, se debe tener en consideración ciertos factores que pueden influir en la pieza final que se desea obtener como, por ejemplo: los ángulos de doblado, la elasticidad del material y los radios interiores.

### ***Técnica de doblado con plegadora***

El doblado de metal con una plegadora es un proceso común para la fabricación de piezas metálicas en los sectores industriales, tanto de piezas grandes como pequeñas. Se debe tener claro que las máquinas plegadoras son diseñadas especialmente para los procesos de doblado. (ADHMT, 2022b)

La técnica de doblado va a depender del tipo de diseño que tendrá la máquina plegadora debido a que se basa en la relación del grosor del material y la herramienta final.

Aunque las técnicas de doblado sean diferentes, básicamente las configuraciones y herramientas serán las mismas. Además, la técnica de doblado que se vaya a emplear, va a depender del tipo de material, el grosor de las chapas y el tamaño. (ADHMT, 2022b)

## **Máquina plegadora**

Una máquina plegadora es aquella que realiza el proceso de doblado de una pieza, lo cual se logra con precisión a través del uso de herramientas especializadas aplicando fuerzas y moldes específicos dependiendo de la forma de la pieza final. Durante el proceso de doblado, existen varios factores que pueden afectar el producto final, tales como las herramientas, el radio de curvatura, las características del material y los métodos de curvado.

Dependiendo del diseño de la máquina y de los requisitos específicos para la tarea especificada, el doblado se puede realizar mediando el uso de diferentes fuerzas motrices como son mecánicas, hidráulicas, servoeléctricas o neumáticas. Pese a que existen diversas fuentes de fuerzas de curvado, las más utilizadas son la eléctrica, servo e hidráulica. (ADHMT, 2022)

El fundamento principal de las máquinas plegadoras se basa en aplicar una fuerza de presión con un punzón sobre una matriz, en el cual se coloca en el medio una lámina metálica o chapa para doblar. La capacidad de las plegadoras va a depender en función del tamaño de la chapa que se va a trabajar, pudiendo incluso procesar materiales con un espesor de hasta 20 mm. Algunas plegadoras industriales pueden llegar medir hasta 20 metros de longitud lo que va a permitir incorporar un gran número de chapas para realizar diferentes tipos de plegado de manera continua. (De Máquinas y Herramientas, 2012)

Actualmente hay una gran variedad de modelos, pero pueden clasificarse en algunos tipos de plegadoras, los cuales van a depender en función del tipo de mecanismo utilizado para el proceso de plegado. Para elegir una plegadora, se debe tener en consideración parámetros como la aplicación en la que se va a utilizar, la exactitud deseada, la capacidad de producción y la repetibilidad. (De Máquinas y Herramientas, 2012)

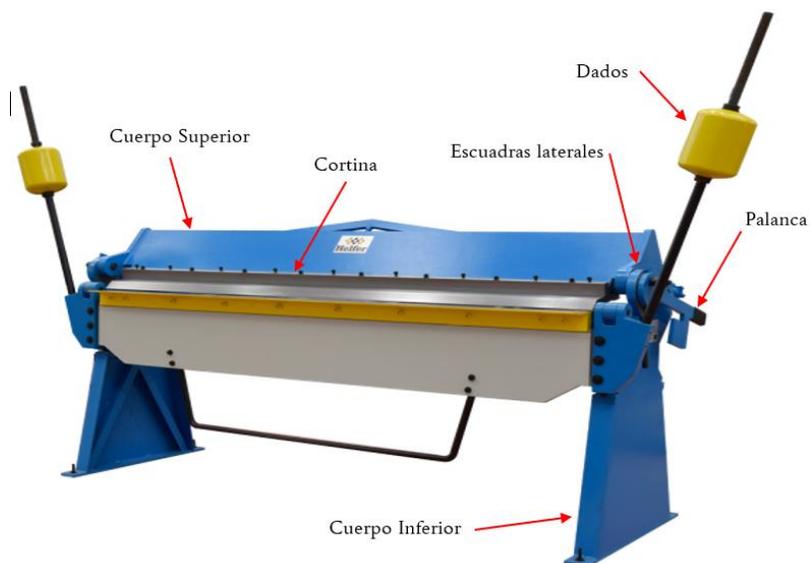
### **Partes de una máquina plegadora**

Las partes más importantes de una máquina plegadora van a variar dependiendo del modelo y la época por lo cual, existen ciertas variaciones diminutas entre cada una de estas máquinas que son especializadas para el trabajo con acero. No obstante, la mayoría de estas máquinas tienen partes o componentes iguales que generalmente siempre están presentes o son muy difíciles de cambiar. (Aceropedia, n.d.)

En la Figura 1 se visualiza las partes que generalmente están presentes en una máquina dobladora.

### **Figura 1**

*Partes de una máquina dobladora Helfer modelo PMG 2040 x 2.5*



*Nota.* Adaptado de (HELPER, 2018)

El cuerpo superior de la plegadora está ubicado sobre la parte inferior debido a que cuenta con un componente que va a subir y bajar la lámina o chapa que se desea plegar. En esta parte se ubican los dados.

En el cuerpo inferior se encuentran ubicadas las patas de la máquina, es decir, es la base de la plegadora

Los excéntricos o dados se refieren a las secciones laterales en las cuales, se ubica una palanca que activará el cuerpo superior de la máquina, y son los puntos que suba o baje dependiendo lo que el operador considere. La presión que se ejerce en estos componentes va a depender del calibre del acero.

La cortina hace referencia a la parte donde se va a realizar el plegado de la chapa o lámina metálica.

Por último, las escuadras laterales tienen una función de sostén y bisagra dentro del cuerpo superior. Estas escuadras se pueden ir ajustando dependiendo del calibre que se desea doblar, además, se aconseja mantener los pernos siempre engrasados para evitar el desgaste de estos componentes. (Morcillo, 2019)

### **Tipos de máquinas plegadoras**

Actualmente, existen diferentes tipos de máquinas plegadoras, las cuales se clasifican dependiendo del tipo de control que tendrá. Entre los principales tipos de plegadoras se encuentran:

#### ***Plegadora manual:***

Las plegadoras manuales son las de menor tamaño y comúnmente son utilizadas para doblar chapas muy finas. En este tipo de plegadora, se debe ajustar manualmente los ángulos de flexión y las dimensiones. (Peñarreta, 2022)

Su funcionamiento es más complejo que otros tipos y, por ende, no es muy utilizado para producciones medias-altas debido a que todo se debe ajustar manualmente. Aunque, existen algunas versiones de este tipo de plegadoras que incluyen un mecanismo de

accionamiento hidráulico y algunos controladores CNC, por lo que, las plegadoras manuales varían desde máquinas livianas hasta máquinas que poseen una base la cual debe fijarse al piso. En la Figura 2 se observa el modelo de una plegadora manual.

## Figura 2

*Plegadora manual marca PROFI de 1 x 610 mm*



*Nota.* Tomado de (TecnoMáquinas, 2019)

### ***Plegadora mecánica:***

Este tipo de plegadoras se caracteriza por poseer un volante de inercia que está ubicado en la parte superior izquierda del armazón para generar suficiente energía y poner en movimiento el pistón. Para realizar dicha función, existe un dispositivo mecánico que conecta el pistón con el volante de inercia el cual, cuando se encuentra desacoplado, el volante de inercia reúne la inercia y al acoplarse, da paso al movimiento ascendente y descendente del pistón. Esta inercia acumulada se la usa para crear el tonelaje necesario para el plegado. (Mercado, 2022)

La Figura 3 muestra un ejemplo del modelo de una plegadora mecánica. A pesar de que estas plegadoras se basan en el mecanismo de volante/embrague positivo, aun son utilizadas hoy en día, pero cabe recalcar que este funcionamiento presenta un gran riesgo para

operadores inexpertos. Si no se deja que la plegadora termine su ciclo completo, el pistón puede descender hacia la cama antes de que el mecanismo de embrague pueda acoplarse nuevamente, lo cual puede provocar que las manos del operador queden atrapadas. Para ello, se debe tomar en cuenta esta situación e instalar guardas protectoras en este tipo de plegadoras para prevenir cualquier tipo de accidente. (Rosero, 2016)

### Figura 3

*Prensa plegadora mecánica marca Cyril Bath modelo 15010*



*Nota.* Tomado de (MIMSA, s.f.)

### ***Plegadora hidráulica:***

Las plegadoras de tipo hidráulica son las más eficientes y modernas en cuanto se refiere a términos de rendimiento. Se las considera las más avanzadas y con más potencia que las demás plegadoras. En este tipo de plegadora se utiliza una bomba hidráulica y cilindros hidráulicos para impulsar el pisador, lo cual, brinda más velocidad, eficiencia y exactitud a comparación de otras plegadoras. (Mercado, 2022)

Esta clase de plegadora tiene incorporado tanto el movimiento ascendente como descendente. Este diseño es el favorito de algunos debido a que reduce los efectos de la repetibilidad del pistón, el normal desgaste de la máquina y los derivados del uso.

Actualmente, la mayoría de las máquinas plegadoras de chapas son hidráulicas con movimiento descendente. En la Figura 4 está el modelo de una plegadora hidráulica. Estas máquinas son accionadas con CNC, el cual permite supervisar el sistema de válvulas que es capaz de otorgar al pistón una mayor exactitud y precisión a los ángulos de plegado. (De Máquinas y Herramientas, 2012)

#### **Figura 4**

*Plegadora hidráulica marca Heller modelo PCB63x2000*



*Nota.* Tomado de (HELLER, 2019)

#### ***Plegadora hidra – mecánica:***

Las plegadoras hidra mecánicas tienen un diseño muy similar al de las plegadoras mecánicas, pero la diferencia radica en que estas utilizan una bomba hidráulica que brinda la inercia suficiente para mover el pistón, en lugar de un volante de inercia. Es decir, en este tipo de plegadora, la bomba de agua será la que va a generar la energía necesaria que va a accionar el pisador. (De Máquinas y Herramientas, 2012)

La presión hidráulica generada permitirá que un motor hidráulico pueda mover un eje excéntrico el cual, dará paso a un movimiento tanto ascendente como descendente al pisador y generará la suficiente potencia para realizar el plegado de la chapa. La Figura 5 es un ejemplo de una plegadora hidra-mecánica

Estas plegadoras brindan una ventaja en comparación con las plegadoras mecánicas, la cual se basa en que estas no es necesario completar toda la carrera para alcanzar el tonelaje máximo, sino que esto lo pueden lograr en cualquier momento de la carrera. No solo son mejores en cuanto capacidad y rendimiento, también son mejores en el aspecto de la seguridad. Además, pueden alcanzar tonelajes muy altos utilizando un efecto de palanca que permite el movimiento ascendente y descendente del pistón. Se debe tener en cuenta que este movimiento puede afectar la precisión y repetibilidad, pero ayuda en el manejo de estas plegadoras que realizan trabajos de acuñado y con chapas de mayor grosor. (Mercado, 2022)

### **Figura 5**

*Plegadora hidra-mecánica*



*Nota.* Tomado de (De Máquinas y Herramientas, 2012)

### ***Plegadora CNC:***

Las plegadoras de tipo CNC son máquinas utilizadas para doblar chapas metálicas en diferentes perfiles. Este tipo de plegadoras son las más revolucionarias dentro de la industria metal-mecánica debido a que se operan mediante control numérico computarizado lo cual, permite tener mejores resultados y con mayor precisión. La cantidad de curvado y la precisión va a depender del sistema sincrónico de la máquina, del calibrador trasero y del sistema hidráulico. (Perez, 2021)

El número de ejes que tendrá la plegadora va a influir en el funcionamiento de los componentes. Dependiendo de esto, ofrecerán un rendimiento mayor y serán capaces de lograr mejores acabados de alta calidad incluso con láminas de grandes profundidades. En la Figura 6 se visualiza un ejemplo de una plegadora CNC

### **Figura 6**

*Plegadora CNC marca Yangli modelo HB1032*



*Nota.* Tomado de (Yangli, 2020)

**Funcionamiento de una plegadora CNC.** Las máquinas plegadoras CNC son las más avanzadas dentro del mercado debido a que son totalmente automatizadas y se caracterizan por tener un sistema de cómputo avanzado el cual, usan piezas de resistencia alta que, mediante motores eléctricos, entran en funcionamiento.

El funcionamiento de este tipo de plegadoras se basa en cambiar la forma de las chapas mediante un doblado que se realiza con ángulos determinados que oscilan los 90 grados. (Perez, 2021)

### ***Plegadora de letras acanaladas***

La plegadora o dobladora de letras acanaladas es un tipo de máquina que es totalmente automatizada y que actualmente es muy usada dentro de la producción suave y sencilla de los bordes de letras y letreros en 3D, es decir, con letras acanaladas que pueden ser sin borde, iluminadas o invertidas y que además son fabricadas con diferentes tipos de metales como perfiles de acero galvanizado, aluminio o cobre. (VariSigns, 2021)

A través de un software, esta plegadora va a tener la capacidad de doblar el borde de la letra de metal con mayor precisión y que, además, esto ayudaría a que se aumente la intensidad y la apariencia de la letra. La Figura 7 muestra el modelo actual de una plegadora de letras acanaladas. (SINOTEC, 2019)

### **Figura 7**

*Máquina plegadora de letras acanaladas marca XQL modelo NL130*



*Nota.* Tomado de (XQL, 2020)

## Proceso de plegado

El proceso de plegado de chapa consiste en ejercer o aplicar presión sobre un eje para que el material sea deformado de forma permanente. Este proceso no afecta el grosor de la chapa y es muy usado en la industria para dar rigidez, resistencia o mejorar la apariencia de algunos productos de metal. En este proceso se utiliza el conformado por deformación plástica el cual, excede el límite elástico del material. Se lo efectúa utilizando una plegadora el cual, es un tipo de prensa que su diseño es considerado para ejecutar operaciones de plegado.

(Gestión de compras, s.f.)

Para realizar el proceso de plegado, se usa un punzón y una matriz las cuales son fabricados normalmente con fundición gris o acero al carbono. Para poder alcanzar la fuerza necesaria y lograr la deformación requerida se utiliza una plegadora.

La deformación resultante crea tensiones tanto de compresión como de tensión en el material. Es necesario destacar que esta deformación final no siempre resulta ser totalmente plástica, debido a que todos los metales presentan una zona elástica antes de que se ocasione la deformación final permanente. Entonces, cuando se retira la fuerza aplicada, se crea un fenómeno llamado retorno elástico el cual, implica que la pieza se vaya recuperando parcialmente hacia su forma original después de que las fuerzas de plegado desaparecen.

(Gestión de compras, s.f.)

A menudo el proceso de plegado emplea herramientas y equipos estándar como son los punzones y matrices lo cual, resulta un costo bajo inicial que ayuda que sea un proceso competitivo para realizar producciones de bajo o mediano volumen. Pese a esto, para ejecutar operaciones de plegado especializadas se debe utilizar herramientas personalizadas las cuales, resultan más costosos pero que pueden volverse rentables si se realizan producciones de alto volumen. (Gestión de compras, s.f.)

### ***Tipos de plegado***

Los tipos de plegado que existen, se dividen en función de la magnitud de la fuerza que se aplicará durante el proceso de plegado o transformación de la chapa. Se encuentra hasta tres tipos de doblado de chapa:

**Plegado a fondo.** El plegado a fondo es uno de los tipos de plegado más sencillos y comunes que hay debido a que no se requiere una gran cantidad de presión para su ejecución. Este tipo de plegado también es conocido como plegado en forma de V porque la presión es aplicada a partir de tres puntos: el radio del punzón y los radios de los vértices de la V que tiene la matriz. (SOME, 2020)

Esta forma de plegado se caracteriza porque el punzón se frena cuando las paredes de la matriz V y la placa metálica llegan a entrar en contacto. Hay que destacar que este proceso entrega una precisión de  $\pm 30^\circ$  aproximadamente. (Peñarreta, 2022)

**Plegado parcial o de borde.** En el plegado parcial o borde, la chapa entra en contacto con hasta tres puntos durante el proceso el cual, le da un funcionamiento similar que el plegado a fondo. Generalmente, se utiliza para deformaciones con variedad de ángulos y, por lo tanto, la presión es menor hasta el ángulo de la matriz. (NEBRINOX, 2020)

Una ventaja que ofrece este tipo de plegado es que, el utillaje puede ser el mismo para obtener un extenso abanico de ángulos hasta que la placa entre en contacto con tres puntos dentro de la matriz. (Peñarreta, 2022)

**Plegado a tope o estampado.** El plegado por estampación es un proceso dentro de la fase del estampado en el que se destaca la alta precisión y un radio más reducido. Además, este tipo de plegado ofrece una velocidad de operación considerablemente mayor que la plegadoras CNC, pero se debe tener en cuenta que hay que realizar una inversión en herramienta de troquelado. (SOME, 2020)

En este plegado estampado se debe eliminar cualquier espacio de aire que exista entre la matriz y el punzón lo cual resulta en un vértice totalmente definido y un ángulo perfecto. Para lograr este resultado, se requiere de una máquina que accione una presión considerable debido a que la precisión del resultado final es de gran precisión. (T-Avance, 2020)

### ***Factores que influyen en el plegado***

Hay que tener en cuenta que es difícil encontrar una lámina metálica que sea prácticamente igual por lo que, las diferencias que existan pueden ser muy relevantes dentro del mismo conjunto o en la misma lámina. Por lo tanto, existen ciertos factores que llegan a influir dentro del proceso de plegado.

**Acabado de la chapa.** En lo que se refiere al acabado de la chapa, el proceso de plegado se puede complicar debido a las diferentes tramas que existan en los espesores de las láminas las cuales, pueden provocar problemas dimensionales en los grados y medidas de los plegados. El plegado puede llegar a variar significativamente dependiendo si la lámina a plegar tiene una trama hacia arriba o hacia abajo y pueden empeorar aún más si es que existen contraplegados. (Molinero, 2019)

**Sentido de laminación.** Durante el proceso de laminado del material, la estructura cristalina se estira y esto da como resultado propiedades mecánicas diferentes a lo largo de su longitud y anchura. Cuando una chapa se dobla paralela o transversalmente a las fibras laminadas, se llega a obtener con facilidad un desarrollo distinto.

Es más recomendable doblar una pieza que tenga las fibras perpendiculares a la línea de plegado debido a que la chapa ofrece una mayor resistencia y menor tendencia a provocar grietas en el lado exterior del radio. (Molinero, 2019)

**Retorno elástico.** Este factor está directamente relacionado con las características del material de la chapa, es decir, entre más rígido sea el material, mayor será el grado de retorno

elástico experimentado. En algunos materiales más blando, como el cobre, el retorno elástico puede llegar a ser 0.5 grados, mientras que en acero al carbono puede llegar a tener 1 grado y en materiales con espesores más gruesos o acero inoxidable, el retorno elástico puede ser de hasta 3 grados. Entre menor sea el impacto relativo en el área elástica de la zona neutra, también será menor el grado de retorno elástico. (NEBRINOX, 2021)

**Diferencia de espesores.** Los fabricantes de las láminas metálicas proporcionan chapas con una tolerancia de espesor la cual, puede llegar a ser del 10% aproximadamente. Esta variación en el espesor puede llegar a afectar la precisión del ángulo de plegado por lo que, en áreas con espesor menor, el ángulo final será más amplio. (Molinero, 2019)

Por lo tanto, las chapas que fueron laminadas en frío llegan a tener una menor tolerancia y, por ende, son más precisas.

**Flexión de la máquina.** Este factor consiste en que cuando se aplica una fuerza considerable, inevitablemente se va a producir una flexión en sentido longitudinal tanto en la herramienta superior como en la herramienta inferior. Como resultado de esta desviación, las herramientas superior e inferior no van a permanecer paralelas durante el proceso de plegado lo que provocará variaciones en el ángulo de plegado a lo largo de la longitud del producto final. (NEBRINOX, 2021)

## Capítulo II

### Diseño mecánico de la plegadora de canal

El presente capítulo expone el diseño mecánico de la plegadora de canal, cuyo objetivo es aumentar la producción de letras acanaladas en la empresa IDEART. Mediante el diseño de concepto, se lleva a cabo la recopilación de información sobre las necesidades de la empresa y los requerimientos técnicos de la máquina; además se detallan parámetros que ayudarán en la selección de componentes de la máquina.

#### Diseño de concepto

##### *Definición de las necesidades del cliente*

Las necesidades son planteadas por parte de la empresa IDEART, las cuales se detallan en la Tabla 1, y deben ser tomadas en cuenta durante el proceso de diseño y la construcción de la máquina plegadora. La importancia de cada necesidad se califica del 1 al 5, donde irá de menor a mayor importancia respectivamente.

**Tabla 1**

*Necesidades del cliente*

| Nº | Necesidad                 | Importancia |
|----|---------------------------|-------------|
| 1  | Sistema CNC de doblado    | 5           |
| 2  | Alta precisión de plegado | 5           |
| 3  | Área de trabajo 500x1200  | 4           |
| 4  | Alta velocidad de plegado | 4           |
| 5  | Mantenimiento fácil       | 3           |
| 6  | Uso sencillo              | 4           |
| 7  | Peso moderado             | 2           |

| <b>N°</b> | <b>Necesidad</b>  | <b>Importancia</b> |
|-----------|---|--------------------|
| 8         | Diseño seguro para prevenir accidentes                  | 5                  |
| 9         | Capacidad de doblar material de hasta 0.7 mm de espesor | 4                  |
| 10        | Construcción de bajo costo                              | 4                  |

Mediante la Tabla 1, se procede a obtener las métricas de mayor importancia para satisfacer las necesidades del cliente. En la Tabla 2, se enlista las métricas respecto a la necesidad y junto con sus unidades de medida.

**Tabla 2**

*Métricas*

| <b>N° métrica</b> | <b>N° de necesidad</b> | <b>Métrica</b>                | <b>Unidad</b> |
|-------------------|------------------------|-------------------------------|---------------|
| 1                 | 1,9                    | Fuerza de doblado             | N             |
| 2                 | 1,4                    | Velocidad de plegado          | mm/s          |
| 3                 | 3                      | Dimensiones                   | mm            |
| 4                 | 5,10                   | Precio de la máquina          | \$            |
| 5                 | 6                      | Interfaz sencillo             | subj          |
| 6                 | 5                      | Tiempo de mantenimiento       | h             |
| 7                 | 7                      | Peso                          | Kg            |
| 8                 | 1,2                    | Precisión de plegado          | %             |
| 9                 | 3,8,10                 | Resistencia de los materiales | MPa           |

Con base a las necesidades, se ejecuta un diseño secuencial debido a que genera una menor complejidad inicial, ofrece menor riesgos de errores y permite realizar un progreso de la máquina en orden lineal, fácil de seguir y controlar.

### ***Generación de la arquitectura de la plegadora***

El objetivo de la máquina plegadora es realizar el doblado del material acero ASTM A653 para crear letras acanaladas o 3D mediante el uso de un sistema CNC el cual permitirá al usuario con el uso de una interfaz, poder visualizar las trayectorias de los perfiles de las letras y ejecutar el código G para que a continuación, se realice el doblado de forma automatizada.

La máquina estará conformada por tres sistemas las cuales se definen como: sistema mecánico, sistema eléctrico y electrónico y sistema de generación de trayectorias. En la Tabla 3, se puede visualizar los sistemas con sus respectivos subsistemas que estarán integrados en la plegadora, además en la Figura 8 se presenta la alternativa del diseño de la máquina.

### **Figura 8**

*Propuesta de diseño de la máquina plegadora*



**Tabla 3***Sistemas y subsistemas*

| <b>N°</b> | <b>Sistema</b>                        | <b>Subsistema</b>         | <b>Elementos</b>       |
|-----------|---------------------------------------|---------------------------|------------------------|
|           |                                       | Estructura                | Estructura mecánica    |
| 1         | Sistema mecánico                      |                           | Eje X                  |
|           |                                       | Sistema de plegado        | Eje Z                  |
|           |                                       |                           | Eje A                  |
|           |                                       |                           | Actuadores             |
| 2         | Sistema electrónico y control         | Sistema de control        | Drivers                |
|           |                                       |                           | Microcontrolador       |
|           |                                       |                           | Fuente de alimentación |
| 3         | Sistema de generación de trayectorias | Generador de trayectorias | Software               |

**Diseño de la estructura mecánica**

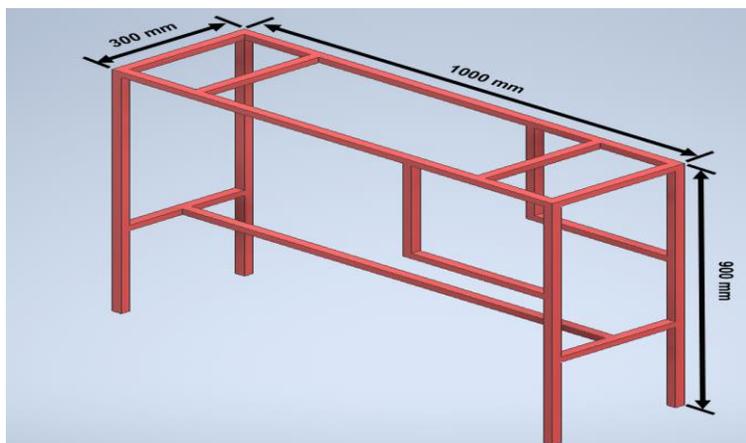
Para el diseño de la estructura mecánica, hay que tener en cuenta todos los elementos que estarán presentes dentro de los sistemas de la plegadora, es decir, se debe proporcionar un espacio suficiente para los componentes del sistema de plegado y del sistema de control. Además, la estructura debe ser lo suficientemente estable y seguro para soportar el peso y las fuerzas presentes.

En lo que respecta a las dimensiones de la estructura, se debe determinar las medidas totales de los elementos acomodados para realizar el doblado, es decir, hay que considerar cuánto espacio va a ocupar los componentes de los sistemas de plegado y control. Cabe mencionar que se debe realizar una distribución de los elementos de tal manera que permita al

usuario tener comodidad, usar la máquina sin obstrucciones y acceso a los componentes en caso de tener que realizar algún tipo de mantenimiento.

### Figura 9

*Dimensiones de la estructura mecánica*



Para la altura de la mesa, se consideró la norma NTE INEN 1641 MUEBLES DE OFICINA, ESCRITORIOS Y MESAS. REQUISITOS, en el cual, la estructura es una mesa de trabajo y el usuario tendrá que estar de pie para el uso de la máquina, por lo que, según la norma la estructura será de tipo C, es decir, de altura fija. El rango de altura, solo de pie, planteado por la norma es de  $1050 \pm 20$  mm, por lo tanto, la altura de la estructura final propuesta es de 900 mm.

En lo que respecta el largo y la profundidad de la estructura, se tuvo en cuenta el espacio de trabajo que la empresa brindaba para la máquina. El espacio de trabajo para la plegadora es de 1500 mm de largo y 500 mm de profundidad, por lo que, las dimensiones de la estructura mecánica son 1000 x 300 x 900 mm.

La estructura debe garantizar que sea demasiado resistente y a la vez estable para realizar el proceso de plegado. Con base a esto, se debe usar métodos de construcción y

materiales que sean capaces de cumplir con los requisitos de resistencia y estabilidad para evitar fallas estructurales o deformaciones.

### ***Cálculos de la estructura mecánica***

La estructura para la plegadora debe tener la resistencia necesaria para que pueda soportar el peso de todos los componentes que van a ser implementados, además de asegurar una buena estabilidad. Estos requisitos implican que se deba usar materiales que garanticen resistencia y rigidez a la máquina para evitar deformaciones o alguna falla estructural.

Para la estructura se va a usar tubos de acero al carbono con uniones soldadas el cual, mediante lo expuesto en la norma NTE INEN 2415 TUBOS DE ACERO AL CARBONO PARA APLICACIONES ESTRUCTURALES Y USOS GENERALES. REQUISITOS se sugiere que el requisito mecánico del acero base sea de grado 250 tipo 1 con una elongación mínima en 200mm del 15% y tubos estructurales sección cuadrada, rectangular o especial de Grado C.

Por lo tanto, según la norma NTE INEN 2415, se recomienda usar el material ASTM A36 para realizar la fabricación de la estructura. En la Tabla 4 se indica las propiedades mecánicas del material a usarse.

**Tabla 4**

*Propiedades mecánicas del ASTM A36*

| <b>Propiedad</b>                | <b>Valor</b> |
|---------------------------------|--------------|
| Resistencia máxima $S_u$        | 400 MPa      |
| Resistencia a la cadencia $S_y$ | 280 MPa      |
| Módulo de Elasticidad $E$       | 200 GPa      |
| Elongación                      | 21 %         |

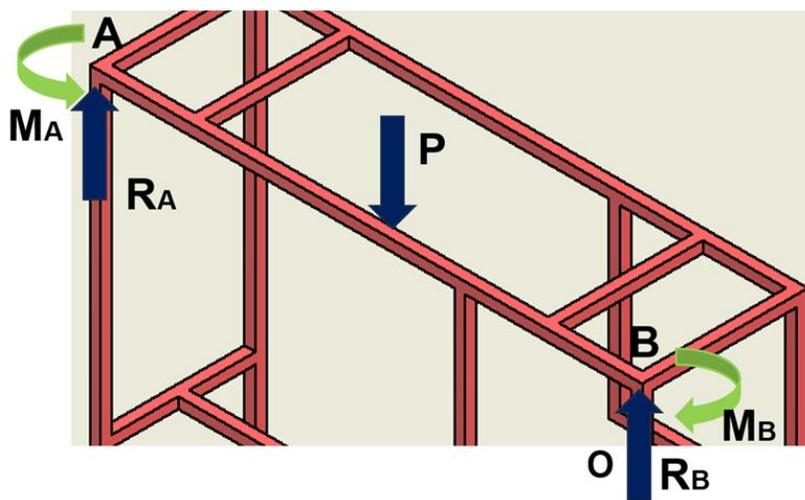
*Nota.* Tomado de (Mott, 2009)

Según (Mott, 2009), recomienda que, para diseñar, la determinación de un factor de diseño específico para una situación particular se basa en la experiencia de diseño y el conocimiento de las condiciones analizadas previamente. La responsabilidad de establecer dicho factor de diseño recae en el diseñador, quien debe garantizar la seguridad del componente que está siendo diseñado, al mismo tiempo que busca lograr una solución efectiva en términos de costos.

Para verificar la deflexión máxima que se produce, se analiza sola una viga de la estructura debido a que será el punto más crítico de la estructura. Se realiza el diagrama de cuerpo libre como se muestra en la Figura 10 y se coloca las fuerzas que actúan en la viga.

### Figura 10

*Diagrama de cuerpo libre de una de las vigas de la estructura mecánica*



Para realizar el análisis de la deflexión se debe considerar todas las masas que van a intervenir en la máquina, en este caso, estarán presente los elementos del eje Z que da una masa de aproximadamente 5 kg, el cual al multiplicarse por la gravedad genera una fuerza de 49.05 N.

Para determinar el esfuerzo de diseño y la flexión máxima se analiza la estructura en donde toda la fuerza aplicada estará en el centro de la viga, y al tener una carga estática y un material dúctil consideramos un factor de diseño  $N = 2$  según (Mott, 2009).

$$\sigma_d = \frac{Sy}{2} \quad (1)$$

$$\sigma_d = \frac{280}{2} MPa$$

$$\sigma_d = 140 MPa$$

Para determinar el límite de la deflexión recomendado, se toma el límite para una viga general de una máquina.

$$y_{maxd} = 0,0005 \text{ a } 0,003 \frac{mm}{mm} \quad (2)$$

$$y_{maxd} = \frac{L}{360} \quad (3)$$

$$y_{maxd} = \frac{1000}{360} mm$$

$$y_{maxd} = 2.78 mm$$

La viga se comportará como una viga con doble empotramiento y una carga centrada por lo que se tiene las ecuaciones tomadas del apéndice de (Mott, 2009, p. 740).

$$M_A = M_B = \frac{PL}{8} \quad (4)$$

$$R_A = R_B = \frac{P}{2} \quad (5)$$

$$M_A = M_B = \frac{(49.05 N)(1 m)}{8}$$

$$M_A = M_B = 6.13 \text{ Nm}$$

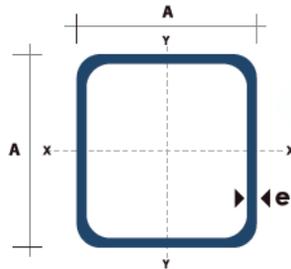
$$R_A = R_B = \frac{49.05}{2} \text{ N}$$

$$R_A = R_B = 24.525 \text{ N}$$

Para el diseño por esfuerzo máximo se obtiene el módulo de la sección como se puede visualizar en la Figura 11.

**Figura 11**

*Sección del tubo cuadrado*



*Nota.* Tomado de (DIPAC, s.f.)

Se calcula el módulo de sección con el momento y esfuerzo de diseño calculado mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{A^4 - (A - e)^4}{6A} \quad (6)$$

$$S = \frac{M_A}{\sigma_d} \quad (7)$$

$$S = \frac{6.13 \text{ Nm}}{140 \text{ MPa}}$$

$$S = 43,786 \text{ mm}^3$$

A partir de módulo de sección calculado en función al esfuerzo máximo y asumiendo un espesor de dos milímetros del tubo cuadrado, se determina el valor externo del tubo cuadrado.

$$S = \frac{8A^3 - 24A^2 + 32A - 16}{6A}$$

$$43,786 \text{ mm}^3 = \frac{8A^3 - 24A^2 + 32A - 16}{6A}$$

Se despeja el valor de A para determinar los posibles valores que debe tener el tubo cuadrado.

$$8A^3 - 24A^2 - 230,714A - 16 = 0$$

$$A \approx 7.101 \text{ mm}$$

$$A \approx -0.069 \text{ mm}$$

$$A \approx -4.031 \text{ mm}$$

En el diseño en función al esfuerzo máximo se determina y se selecciona un tubo cuadrado de 7.1 mm.

Para evitar fallas por deflexión de la estructura se realiza el diseño en función a la deflexión máxima permitida.

$$y_{max} = \frac{-PL^3}{192EI} \quad (8)$$

$$I = \frac{-PL^3}{192Ey_{maxd}} \quad (9)$$

$$I = \frac{(49.05 \text{ N})(1 \text{ m})^3}{192(200 \text{ GPa})(2,78 \text{ mm})}$$

$$I = 459,48 \text{ mm}^4$$

$$I = \frac{A^4 - (A - e)^4}{12} \quad (10)$$

$$459,48 = \frac{A^4 - (A - e)^4}{12}$$

$$8A^3 - 24A^2 + 32A - 5497.76 = 0$$

$$A \approx 10 \text{ mm}$$

Se selecciona un tubo cuadrado de material ASTM A36 con medidas de lado de 10 mm y un espesor de 2 mm. Se realiza el diseño en función al tubo seleccionado.

$$A = 10 \text{ mm}$$

$$e = 2 \text{ mm}$$

$$I = \frac{A^4 - (A - e)^4}{12}$$

$$S = \frac{A^4 - (A - e)^4}{6A}$$

$$I = 492 \text{ mm}^4$$

$$S = 98.4 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_c = 62.297 \text{ MPa}$$

$$y_{max} = -2.596 \text{ mm}$$

Se determina que el tubo seleccionado cumple con los requerimientos de diseño que es la deflexión y esfuerzo máximos. En el Anexo 1, se visualiza la deflexión y el esfuerzo generado en la estructura mecánica.

## Sistema del mecanismo actuador

El sistema del mecanismo actuador tiene como objetivo o tarea principal el doblado del material, es decir, se requiere de un buen sistema para que pueda doblar el material en ambas direcciones. Para ello, en la Tabla 5 se detalla los requerimientos que debe cumplir y la evaluación de estos en el cual, la escala de calificación será del 1 al 5 donde, la prioridad va de menor a mayor respectivamente.

**Tabla 5**

*Evaluación de los requerimientos para el sistema del mecanismo actuador*

| Requerimiento   | Prioridad |
|---|-----------|
| El mecanismo deberá doblar el material sin dificultad   | 5         |
| Deberá realizar el doblado del material de forma rápida y precisa   | 4         |
| Tiene que ser un mecanismo de mantenimiento sencillo  | 3         |
| El mecanismo deberá realizar el mismo movimiento de forma repetitiva para el doblado, pero en diferentes posiciones angulares | 5         |
| Económico y con elementos comerciales   | 5         |

Como se pudo visualizar, se debe tener como mayor prioridad que el sistema para el doblado de la máquina plegadora tendrá que ser un mecanismo que doble el material sin dificultad y que realice el mismo movimiento, pero con diferentes posiciones angulares, esto debido a que el perfil de algunas letras hay que realizarlas en diferente ángulos.

### ***Alternativas del sistema del mecanismo actuador***

Para realizar la selección del sistema del mecanismo actuador que va a realizar el doblado del material, se toma en cuenta los principales requerimientos que son doblado de material, costo y repetibilidad de doblado en diferentes posiciones angulares. Estos requerimientos ayudarán a reducir las alternativas a solo dos tipos de mecanismos que son doblado con sierra y doblado por arrastre.

#### ***Alternativa 1: Doblado con sierra***

Actualmente, las máquinas dobladoras de letras de canal están adoptando este tipo de doblado el cual consiste con una hoja de corte de fresado de aleación de motor de CC (sierra), el cual es móvil y puede encajar en ambos lados de las bobinas de letras con diferentes ángulos. (VARI Technology, s.f.)

#### ***Alternativa 2: Doblado por arrastre***

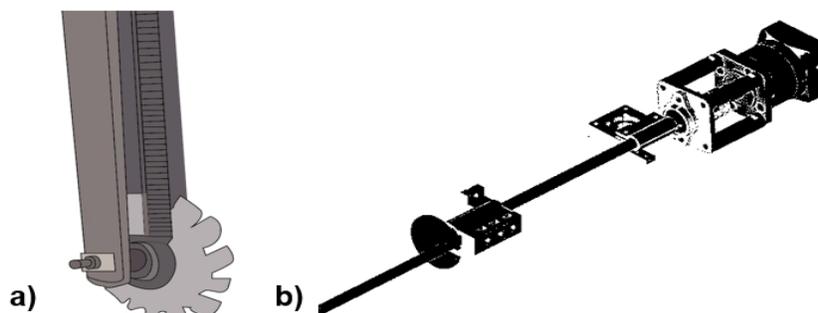
El doblado por arrastre es un método que está siendo utilizado comúnmente para la fabricación de letras acanaladas en donde se utiliza una punta, herramienta superior o eje para aplicar presión sobre el material y doblarlo con el ángulo deseado.

La Figura 12 muestra las alternativas para realizar la selección de criterios mediante el código de evaluación que se detalla a continuación:

- + “mejor que”
- 0 “igual que”
- - “peor que”

**Figura 12**

*Alternativas para el sistema del mecanismo actuador*



*Nota.* La figura presenta las alternativas a) doblado con sierra y b) doblado por arrastre

En la Tabla 6 se realiza la evaluación de las dos alternativas para el sistema del mecanismo actuador bajo diferentes criterios de selección.

**Tabla 6**

*Criterios de selección para el sistema del mecanismo actuador*

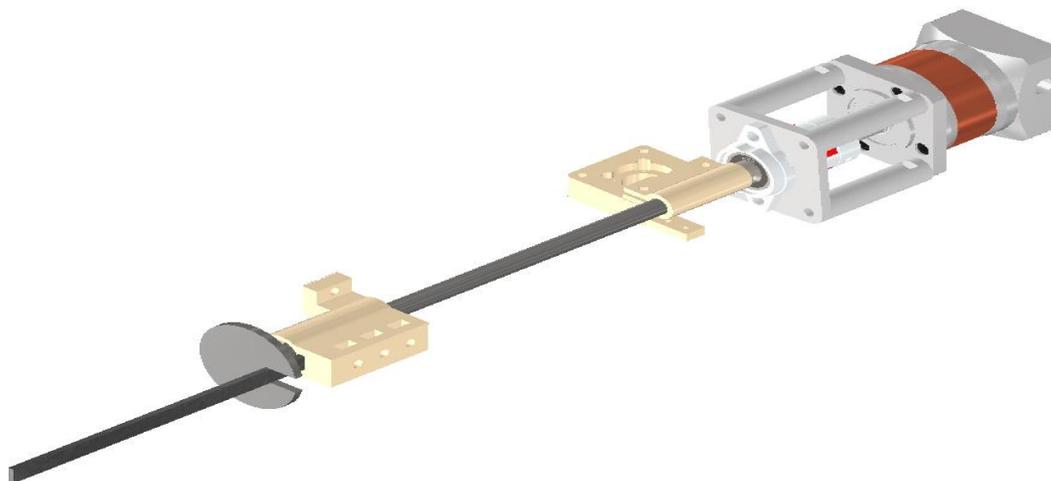
| Criterios de selección        | Conceptos          |                      |
|-------------------------------|--------------------|----------------------|
|                               | Doblado con sierra | Doblado por arrastre |
| Doblado del material          | +                  | +                    |
| Facilidad de construcción     | 0                  | +                    |
| Costo de fabricación          | -                  | +                    |
| Doblado en diferentes ángulos | -                  | +                    |
| Velocidad de doblado          | +                  | -                    |
| Mantenimiento sencillo        | 0                  | 0                    |
| Suma +                        | 2                  | 4                    |
| Suma 0                        | 2                  | 1                    |
| Suma -                        | 2                  | 1                    |

| Criterios de selección | Conceptos          |                      |
|------------------------|--------------------|----------------------|
|                        | Doblado con sierra | Doblado por arrastre |
| Evaluación neta        | 0                  | 3                    |
| Lugar 1                | 2                  | 1                    |
| ¿Continuar?            | No                 | Si                   |

Para el sistema del mecanismo actuador se selecciona el doblado por arrastre como la mejor opción. En la Figura 13 se muestra el diseño del mecanismo que hará el doblado del material por arrastre.

### Figura 13

*Sistema del mecanismo actuador con método de doblado por arrastre*



El diseño del mecanismo constará de dos ejes, X y A, en donde el eje X tendrá la función de arrastrar el material mientras que el eje A será el que guiará al eje X para que realice el doblado en diferentes posiciones angulares. En la Tabla 7 se detalla los elementos y la función de cada uno dentro del mecanismo. En el Anexo 2, se observa los planos mecánicos de cada uno de los elementos que conforman el sistema mecánico de la máquina plegadora.

**Tabla 7***Elementos del sistema mecanismo actuador*

| <b>Elemento</b>               | <b>Función</b>  | <b>Imagen</b>   |
|-------------------------------|---|---|
| Soporte motor eje X           | Sirve para sujetar el motor que hará el movimiento en el eje X.   |    |
| Reductor de motor del eje A   | Cumplirá la función de controlar y variar la velocidad del motor del eje A.   |    |
| Soporte de la chumacera eje A | Este soporte impreso en PLA, hará la función de sostener la chumacera acoplada en el eje A.                             |    |
| Eje A con disco con hendidura | Este elemento será el eje A y se une con el eje X para realizar el doblado. El eje es de 10 mm.                         |    |
| Eje X                         | Este elemento va a tener la función del eje X y dará la dirección para el plegado del material.                         |   |
| Acople del motor eje A        | Sirve para transmitir la potencia mecánica del motor al eje A   |  |
| Soporte de unión eje X        | Cumple la función de soporte que une el motor del eje X al eje A  |  |
| Soporte del eje X y eje A     | Este elemento hará la función de conectar los ejes X y A. Mientras el eje X va a subir y bajar, el eje A estará rotando |  |
| Chumacera eje A               | La chumacera sirve para mantener el eje A permanezca centrado todo el tiempo.   |  |

## Eje Z

El eje Z es el encargado de extruir el material para que el mecanismo actuador realice el doblado, por lo tanto, en la necesidad de transportar elementos, piezas o materiales, es común recurrir a la utilización de rodillos, los cuales son confeccionados en base al material más apropiado para adaptarse al tipo de material que están destinados a transportar. Estos rodillos abarcan una amplia gama de especificaciones y están disponibles en diversos materiales, desde textiles hasta cauchos.

Particularmente, en el caso del transporte de materiales metálicos como planchas finas, se requiere un enfoque especializado. Según (Codimar, s.f.), subraya la importancia de utilizar rodillos fabricados con materiales flexibles. Estos materiales flexibles deben cumplir con dos características fundamentales: la flexibilidad suficiente para evitar cualquier potencial deslizamiento y la capacidad para soportar la presión sin que el rodillo se deforme.

En esta aplicación específica, los cauchos son ampliamente utilizados debido a su flexibilidad y capacidad para cumplir con los requisitos de transporte de planchas finas de metal. Sin embargo, en la fase de fabricación, según (KY Plastics, 2017) sugiere el uso de TPU (poliuretano termoplástico) como una alternativa valiosa. El TPU exhibe ciertas características que lo hacen idóneo para la fabricación de rodillos en estas circunstancias.

El TPU posee propiedades destacables que lo hacen adecuado para la fabricación de rodillos con requisitos específicos. Su flexibilidad inherente y resistencia al deslizamiento lo convierten en una elección viable para evitar problemas potenciales durante el transporte. Además, su capacidad para soportar la presión sin deformarse ofrece un desempeño sólido y duradero.

Teniendo en cuenta que la selección del material adecuado para fabricar rodillos destinados al transporte de materiales metálicos, como planchas finas, es crucial para garantizar un proceso de transporte eficiente y seguro. Tanto los cauchos tradicionales como el TPU presentan

cualidades valiosas para esta aplicación, pero la recomendación del fabricante Ky Plastics sugiere que el TPU puede brindar ventajas específicas en términos de flexibilidad, resistencia al deslizamiento y capacidad para soportar la presión sin deformarse. Además de poseer una libertad de fabricación como la deposición de material fundido.

### ***Diseño del eje Z***

En el contexto de la necesidad de transportar material de manera continua, surge la particularidad de que este proceso implica no solo el transporte en sí, sino también la alimentación constante del material. Esto se logra mediante la utilización del eje Z, el cual cumple un doble propósito: actúa como un alimentador del material y, al mismo tiempo, funciona como un eje controlable en términos de longitud.

Para llevar a cabo esta funcionalidad híbrida, se implementa un mecanismo basado en poleas dentadas como se puede observar en la Figura 14 y una banda cerrada que se conecta al motor actuador del eje Z. Este mecanismo interactúa con una serie de rodillos dispuestos estratégicamente para asegurar el transporte y la alimentación precisa del material controlando la longitud a ser alimentada.

### **Figura 14**

*Mecanismo de transmisión mediante polea dentada*



*Nota.* Tomado de (BRR, 2022)

Las poleas dentadas desempeñan un parte esencial en este sistema. Están diseñadas para encajar perfectamente con la banda cerrada acoplada al motor actuador, lo que permite una transferencia de energía eficiente desde el motor actuador hacia el eje Z en los rodillos presionados con rodillos de alimentación. Esta interacción garantiza un control preciso sobre la longitud del eje Z y, por ende, sobre la cantidad de material que se alimenta continuamente en el proceso.

Los rodillos, por su parte, se encargan de guiar y sostener el material durante su recorrido a lo largo del eje Z. Están colocados estratégicamente para asegurar que el material se mantenga en su lugar y se desplace sin problemas. Esta disposición contribuye a la precisión y estabilidad del proceso de transporte y alimentación.

Esta solución propuesta para la necesidad de transporte y alimentación continua de material involucra un enfoque ingenioso que aprovecha la funcionalidad dual del eje Z. La combinación de poleas dentadas, banda cerrada, rodillos y motor actuador permite controlar tanto la longitud del eje Z como el proceso de alimentación del material. Esta estrategia garantiza un transporte fluido y preciso, lo que es esencial en aplicaciones donde la continuidad y la precisión son fundamentales.

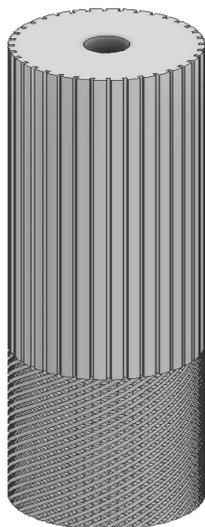
**Rodillos.** En el proceso de diseño de rodillos, se sigue el estándar CEMA. Este estándar aborda diversos aspectos cruciales para el funcionamiento eficiente y duradero de los rodillos. Uno de los requisitos fundamentales establecidos en esta norma es la necesidad de que los rodillos eviten la entrada de contaminantes y aceites, además de adaptarse de manera óptima a la aplicación específica que mejor se ajuste al sistema de transmisión.

Siguiendo estas pautas, se ha concebido un diseño de rodillo que cumple con los criterios esenciales. Este rodillo tiene un diámetro de 35 mm, dimensionado de acuerdo a los requerimientos establecidos por el estándar CEMA. Una de las características distintivas de

este diseño es la incorporación de estrías en la superficie del rodillo. Estas estrías cumplen una función vital al permitir la eliminación de posibles entradas de aire y otros contaminantes. Esto es esencial para garantizar que el rodillo opere en condiciones limpias y eficientes, reduciendo la posibilidad de daños y desgaste prematuro.

### **Figura 15**

#### *Diseño de rodillo*



Además, el diseño también incluye una característica de dirección. Esta característica está diseñada para evitar el movimiento vertical no deseado del material transportado. Al proporcionar una dirección definida en la superficie del rodillo, se minimiza la posibilidad de que el material se desplace verticalmente durante el proceso de transporte. Esto contribuye a un transporte más estable y preciso.

El diseño de rodillos basado en el estándar CEMA se adapta a las necesidades específicas de la aplicación. Las dimensiones del rodillo, su superficie con estrías y la característica de dirección son elementos clave que contribuyen a evitar la entrada de contaminantes, asegurar el funcionamiento eficiente y reducir el desgaste. En conjunto conformando seis rodillos de transmisión que, con la regulación de presión, estos aspectos

garantizan que el rodillo sea una pieza esencial para el sistema de transmisión, cumpliendo con los estándares de calidad y rendimiento establecidos.

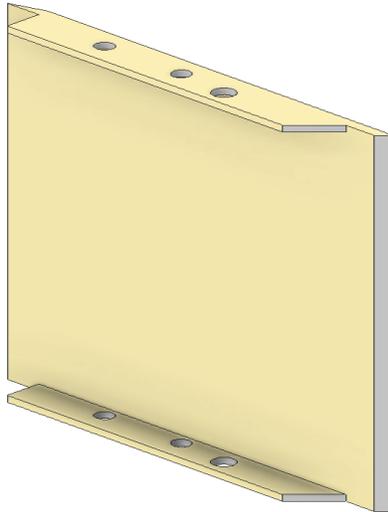
**Placas biseladas.** Una vez que se han definido los parámetros de movimiento y transmisión para el eje Z utilizando los rodillos, se introducen dos consideraciones adicionales para conformar una parte integral del eje Z. Estas consideraciones están dirigidas a guiar el material hacia los dos ejes de plegado y proporcionar una base de apoyo para el proceso de plegado. En este contexto, se está tomando en cuenta un diseño de bases biseladas para lograr estos objetivos.

El primer objetivo es guiar el material hacia los dos ejes de plegado. Esto implica crear un mecanismo que permita dirigir de manera precisa el material hacia los puntos de plegado requeridos. Las bases biseladas desempeñan un papel fundamental en este proceso. Estos componentes se sitúan estratégicamente a lo largo del eje Z y se ajustan de manera que el material sea dirigido con exactitud hacia los ejes de plegado. Esta dirección controlada garantiza que el material se coloque de manera precisa para lograr el plegado deseado, asegurando la calidad y consistencia del proceso.

La segunda consideración es proporcionar una base de apoyo para el plegado del material. Aquí es donde los contra puntos también desempeñan un papel crucial. Estos componentes no solo guían el material, sino que también sirven como puntos de apoyo para el proceso de plegado. Al tener una superficie de contacto estable y ajustable, las bases biseladas permiten que el material se pliegue de manera uniforme y controlada alrededor de los ejes de plegado. Esto garantiza la precisión en los ángulos de plegado y la integridad estructural del material plegado.

## Figura 16

*Placa biselada*

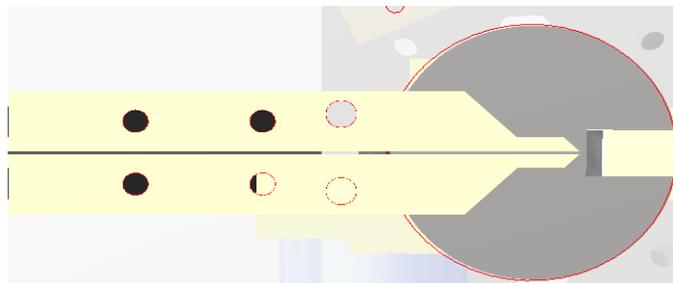


Se considera las dimensiones a utilizarse del contrapunto, principalmente se toma la dimensión del largo desde la salida del último rodillo hasta el centro del eje rotacional del plegado, teniendo una dimensión de 145 mm y la altura se toma de la de los rodillos obteniendo que el área de una base biselada es de 21750 mm<sup>2</sup>.

Considerando que se necesitan dos contrapuntos para presionar el material y dar diferentes ángulos de salida se aprovecha la guía y se los realiza en el centro del eje A dando una mayor incidencia de ángulos con un ángulo de 45°.

## Figura 17

*Unión de las bases biseladas*



Para el espesor de las placas biseladas se toma en cuenta el material de AISI 1020 el cual, sus propiedades mecánicas son resistencia máxima  $S_{\mu} = 393 \text{ MPa}$ , resistencia a la cadencia de  $S_y = 296 \text{ MPa}$  y un porcentaje de alargamiento de 36%.

### **Selección del software generador de trayectoria**

Actualmente, existe una gran cantidad de softwares que ayudan a generar el código de cualquier tipo de figura, algunos de estos programas son de pago y otros se los puede utilizar de forma gratuita, en esta ocasión, se debe buscar un software que ofrezca las mejores características para el funcionamiento de la plegadora.

El tipo de código que se va a utilizar para el funcionamiento de la máquina es el código G ya que es el lenguaje más utilizado en la actualidad para máquinas de tipo CNC y ofrece una gran cantidad de ventajas además de ser un lenguaje de programación poco complicado de aprender.

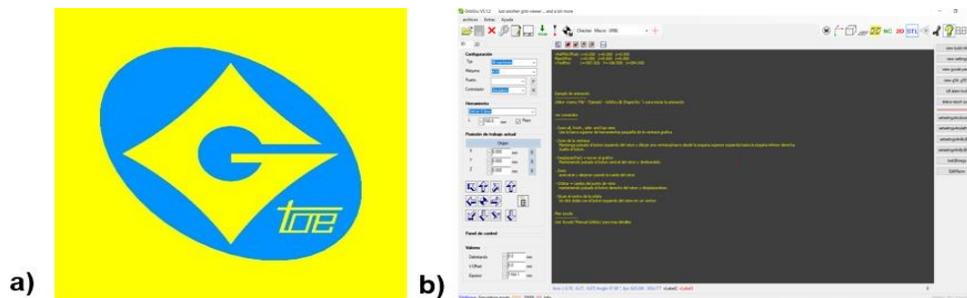
El software seleccionado para generar el código G de las trayectorias de los perfiles de las letras es el GRBL GRU, debido a que este software permite la definición de los ejes que se desea controlar. Es un software gratuito de código abierto que permite interpretar el código G y utilizarlo para convertir la información de pulso y dirección en los amperios de potencia del motor paso a paso.

Algunas de las características que ofrece GRBL GRU V5.1 son:

- Es una herramienta para la simulación 3D de fresas y tornos.
- Es un emisor de código G para GRBL, TinyG, Mega-5X y g2core
- Es un programa CAM para fresas y tornos
- Es una herramienta para aprender la técnica CNC sin tener una máquina real

## Figura 18

Software GRBL GRU V5.1



Nota. a) Logo del software GRBL GRU e b) interfaz de usuario

Para la selección del software, se tomó en cuenta normas y estándares existentes acerca de la interfaz de usuario. Las normas que se consideraron son la ISO/IEC 11581 Íconos de la interfaz de usuario y la norma ISO 10741 Interfaces del sistema de usuario. Por otro lado, (WOW! Customer Experience, 2022) sugiere tener en cuenta 10 leyes UX para una interfaz de usuario:

1. La ley de Hick establece que a medida que se proporciona más opciones para elegir, el tiempo de toma de decisión del usuario se incrementará.
2. La ley de Fitt plantea que el tiempo requerido para alcanzar un objetivo, dependerá de la distancia y el tamaño que se debe recorrer para llegar a él.
3. La ley de Miller consiste en la idea de que un usuario promedio tiene la capacidad de retener en su memoria inmediata hasta un máximo de siete elementos, por lo tanto, no se debe saturar con demasiada información a la interfaz.
4. La ley de Jakob menciona que los usuarios pasan la mayor del tiempo en otros sitios. Esto implica que tienen una preferencia por la funcionalidad de un sitio que se asemeje a la de otros sitios con los que están familiarizados, lo cual significa que se debe realizar investigaciones y referencias para la interfaz.

5. La ley de proximidad se refiere a que los objetos cercanos tienden a agruparse entre sí. Esto significa que se debe tener en cuenta agrupar a los objetos para que el usuario los tome como parte de un solo grupo.
6. El efecto de usabilidad estética significa tener en cuenta la estética de los elementos, lo cual hace referencia a que el usuario tiene a percibir que los elementos con mejor representación, funcionarán mejor que los otros que sean menos representativos.
7. La ley de la pregnancia alude que la gente percibirá imágenes ambiguas como la forma más simple posible. Básicamente, esta ley de usuario sostiene que la percepción humana tiene a simplificar las formas en situaciones de ambigüedad.
8. La ley de similitud consiste en que el usuario suele percibir con mayor facilidad a los objetos similares. Es decir, si los elementos tienen forma, color y tamaño parecidos, significa que se los podrá percibir como iguales.
9. El efecto de posición serial sugiere que, al momento de diseñar contenido, la información importante se coloque al principio y la acción primordial al final.
10. El efecto de Von Restorff establece que cuando existen elementos similares, es común recordar el que se diferencia del resto, por lo tanto, recomienda que se usar un recurso para que el usuario pueda recordad con más facilidad.

Además, también existen estándares que se deben considerar para una interfaz de usuario. (Paez, 2021) sugiere tener en cuenta los siguientes estándares:

- Los factores de desarrollo contribuyen a mejorar la comunicación respecto al sistema operativo. Abarca conjuntos de herramientas y colecciones de elementos, facilidad para la rápida creación y capacidad de adaptación.
- Los factores de viabilidad son estándares que tienen en cuenta factores humanos y reflejan una identidad visual sólida.

- Los factores de aprobación significan a la atracción de las personas y mercados acerca de la interfaz elaborada

GRBL GRU proporciona una interfaz de usuario intuitiva y amigable que permite cargar y editar archivos de código G, controlar ejes de la máquina, ajustar velocidad de avance, realizar monitoreo en tiempo real del estado de la máquina y más funciones con el funcionamiento de máquinas CNC. Además, ofrece características adicionales como la simulación de trayectorias, la visualización gráfica en 3D del proceso de mecanizado y la configuración de parámetros específicos de la máquina.

Para hacer uso del software GRBL GRU, primero se tiene que definir los ejes que se van a controlar de la máquina, en este caso, serán los ejes X (traslación), Z (extrusión) y A (rotación), luego se tiene que cargar el archivo DXF de la letra que se desea crear para que después el programa genere el código G de las trayectorias y finalmente, guardar el archivo del código generado.

## Capítulo III

### Diseño eléctrico y electrónico

#### Establecimiento de los parámetros del motor

A continuación, se detalla los parámetros que los motores deben cumplir dentro del funcionamiento de la máquina y que formarán parte del diseño eléctrico y electrónico. Para (Núñez, 2022) un motor eléctrico es una máquina que tiene la capacidad de transformar o convertir la energía eléctrica en mecánica. Esto lo realiza gracias a la acción de los campos magnéticos generados por sus bobinas.

Para elegir el tipo de motor adecuado, primero se tiene que enlistar los parámetros más importantes que se deben tomar en cuenta y así, poder reducir el conjunto de motores que existen en el mercado.

#### *Parámetros para los motores de los ejes Z y A*

Primero se va a establecer los parámetros para los motores que harán funcionar los ejes Z y A. Debido a que en dichos ejes se va a tener como prioridad la fuerza del motor, la importancia de los parámetros será diferentes a los del eje X. Por lo tanto, en la Tabla 8 se enlistan los principales parámetros y el nivel de importancia de cada uno en donde la escala de calificación será del 1 al 5 en el que la prioridad va de menor a mayor respectivamente.

**Tabla 8**

*Parámetros de los motores de los ejes Z y A*

| Parámetro               | Importancia |
|-------------------------|-------------|
| Control sencillo        | 5           |
| Precisión de movimiento | 5           |
| Bajo costo              | 4           |

| <b>Parámetro</b>   | <b>Importancia</b> |
|--------------------|--------------------|
| Protección IP alta | 3                  |
| Torque alto        | 5                  |
| Velocidad          | 4                  |

Como se puede observar, los parámetros establecidos son los de mayor relevancia para poder elegir los motores adecuados, de los cuales se destaca que el control sencillo, la precisión de movimiento y el torque alto son los más importante en los ejes Z y A.

### ***Parámetros para el motor del eje X***

A diferencia de los ejes Z y A, en el eje X la fuerza del motor no será un parámetro de gran importancia porque estará encargado de realizar el movimiento del elemento que hará la función del eje X, el cual no necesita de mucho torque para su funcionamiento. En la Tabla 9 se detalla los principales parámetros y el nivel de importancia de cada uno en donde la escala de calificación será del 1 al 5 en el que la prioridad va de menor a mayor respectivamente.

**Tabla 9**

### *Parámetros del motor del eje X*

| <b>Parámetro</b>        | <b>Importancia</b> |
|-------------------------|--------------------|
| Control sencillo        | 5                  |
| Precisión de movimiento | 5                  |
| Bajo costo              | 5                  |
| Protección IP alta      | 3                  |
| Torque alto             | 4                  |
| Velocidad               | 4                  |

Los parámetros establecidos de mayor relevancia que se destacan para seleccionar el motor del eje X son el control sencillo, la precisión de movimiento y el costo.

### **Selección de los motores, drivers y microcontrolador**

Se lleva a cabo la selección de los motores, los drives y el microcontrolador en donde se realiza un análisis para elegir los mejores elementos bajo diferentes tipos de criterios que ayudarán a escoger los que sean más acorde para un mejor funcionamiento de los sistemas. Para lograr esto, se emplea el método cualitativo por puntos, el cual consiste en asignar factores cuantitativos a diferentes criterios que sean considerados importantes para la selección de las distintas opciones y que finalmente, permitan tomar una decisión. (Baca, 2001)

Para calificar cada criterio, se evalúa con un rango del 1 al 10 donde el nivel de eficacia va de menor a mayor respectivamente

### ***Selección de los motores***

A continuación, se lleva a cabo la selección de los motores de los ejes X, Z y A, para lo cual se especifica los criterios de evaluación.

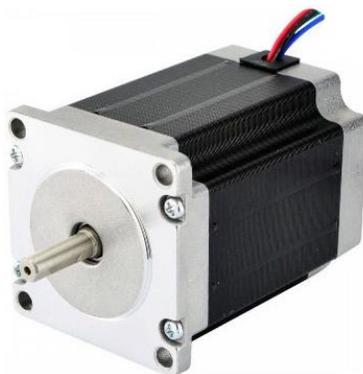
**Selección de los motores de los ejes Z y A.** Para los ejes Z y A, el control sencillo, la precisión y el torque alto son los criterios de selección por lo cual, se consideraron los motores nema 23 y servomotor ds3218. En la Tabla 10 se realiza la evaluación de estos tipos de motores para seleccionar cuál de los dos es el que mejor cumple con base a los parámetros establecidos.

**Tabla 10**

*Criterios de selección y alternativas para la selección de motores de los ejes Z y A*

| <b>Criterio de selección</b>   | <b>Motor NEMA 23</b> |                     |                             | <b>Servomotor DS3218</b> |                             |
|--------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
|                                | <b>Peso</b>          | <b>Calificación</b> | <b>Evaluación ponderada</b> | <b>Calificación</b>      | <b>Evaluación ponderada</b> |
| <b>Control sencillo</b>        | 0.20                 | 10                  | 2.0                         | 9                        | 1.8                         |
| <b>Precisión de movimiento</b> | 0.20                 | 9                   | 1.8                         | 9                        | 1.8                         |
| <b>Bajo costo</b>              | 0.15                 | 8                   | 1.2                         | 9                        | 1.35                        |
| <b>Protección IP alta</b>      | 0.10                 | 9                   | 0.9                         | 8                        | 0.8                         |
| <b>Torque alto</b>             | 0.20                 | 10                  | 2.0                         | 10                       | 2.0                         |
| <b>Velocidad</b>               | 0.15                 | 9                   | 1.35                        | 9                        | 1.35                        |
| <b>Total</b>                   | 1                    |                     | 9.25                        |                          | 9.1                         |
| <b>¿Selección?</b>             |                      |                     | <b>SI</b>                   |                          | <b>NO</b>                   |

Como se puede observar, la mejor alternativa de motor para los ejes Z y A es el motor NEMA 23 el cual consta con control sencillo, precisión y torque que son los principales parámetros para implementar en dichos ejes. En la Figura 19 se muestra el motor nema 23 seleccionado.

**Figura 19***Motor paso a paso NEMA 23*

*Nota.* Tomado de (SanDoRobotics, 2022b)

**Selección del motor del eje X.** Para elegir el motor del eje X, el control sencillo, la precisión y el costo serán los criterios de selección por lo cual, se consideraron los motores nema 17 y servomotor mg995. En la Tabla 11 se realiza la evaluación de estos tipos de motores para seleccionar cuál de los dos es el que mejor cumple con base a los parámetros establecidos.

**Tabla 11**

*Criterios de selección y alternativas para la selección del motor del eje X*

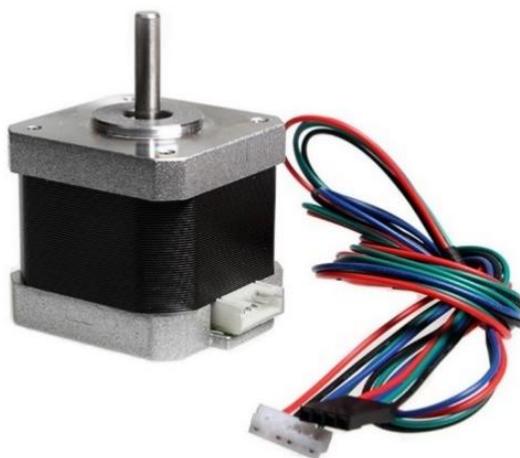
| <b>Criterio de selección</b>   | <b>Motor NEMA 17</b> |                     |                             | <b>Servomotor mg995</b> |                             |
|--------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
|                                | <b>Peso</b>          | <b>Calificación</b> | <b>Evaluación ponderada</b> | <b>Calificación</b>     | <b>Evaluación ponderada</b> |
| <b>Control sencillo</b>        | 0.20                 | 10                  | 2.0                         | 9                       | 1.8                         |
| <b>Precisión de movimiento</b> | 0.20                 | 10                  | 2.0                         | 10                      | 2.0                         |

|                              | <b>Motor NEMA 17</b> |              |                      | <b>Servomotor mg995</b> |                      |
|------------------------------|----------------------|--------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| <b>Criterio de selección</b> | Peso                 | Calificación | Evaluación ponderada | Calificación            | Evaluación ponderada |
| <b>Bajo costo</b>            | 0.20                 | 9            | 1.8                  | 9                       | 1.8                  |
| <b>Protección IP alta</b>    | 0.10                 | 9            | 0.9                  | 8                       | 0.8                  |
| <b>Torque alto</b>           | 0.15                 | 8            | 1.2                  | 10                      | 1.5                  |
| <b>Velocidad</b>             | 0.15                 | 9            | 1.35                 | 8                       | 1.2                  |
| <b>Total</b>                 | 1                    |              | 9.25                 |                         | 9.1                  |
| <b>¿Selección?</b>           |                      |              | <b>SI</b>            |                         | <b>NO</b>            |

Según lo mostrado, la mejor alternativa de motor para el eje X es el motor NEMA 17 el cual consta con control sencillo, precisión y bajo costo que son los principales parámetros para implementar en dichos ejes. En la Figura 20 se muestra el motor nema 17 seleccionado.

### Figura 20

*Motor paso a paso NEMA 17*



*Nota.* Tomado de (Novatronic, 2020a)

### **Selección de drivers**

Los drivers ayudarán a controlar la velocidad y movimientos de los motores además de servir como método de protección para evitar daños, por lo cual se realiza la selección de los drivers bajo criterios de selección como el costo, voltaje de operación, control de corriente, disponibilidad, protecciones eléctricas y resolución de pasos. Para ello, se considera los drivers A4988, TB6600 y DRV8825 en donde en la Tabla 12 se realiza la evaluación de estos modelos de drivers para seleccionar cuál es mejor calificado.

**Tabla 12**

*Criterios de selección y alternativas para la selección del driver*

|                                |             | Driver A4988  |                             | Driver TB6600 |                             | Driver DRV8825 |                             |
|--------------------------------|-------------|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|
| <b>Criterio de selección</b>   | <b>Peso</b> | <b>Calif.</b> | <b>Evaluación ponderada</b> | <b>Calif.</b> | <b>Evaluación ponderada</b> | <b>Calif.</b>  | <b>Evaluación ponderada</b> |
| <b>Voltaje de operación</b>    | 0.20        | 9             | 1.8                         | 10            | 2.0                         | 10             | 2.0                         |
| <b>Control de corriente</b>    | 0.25        | 9             | 2.25                        | 10            | 2.5                         | 9              | 2.25                        |
| <b>Costo</b>                   | 0.15        | 10            | 1.5                         | 7             | 1.05                        | 10             | 1.5                         |
| <b>Protecciones eléctricas</b> | 0.15        | 9             | 1.35                        | 10            | 1.5                         | 9              | 1.2                         |
| <b>Resolución de pasos</b>     | 0.25        | 8             | 2.0                         | 10            | 2.5                         | 9              | 2.25                        |
| <b>Total</b>                   | 1           |               | 8.9                         |               | 9.55                        |                | 9.2                         |
| <b>¿Selección?</b>             |             |               | <b>NO</b>                   |               | <b>SI</b>                   |                | <b>NO</b>                   |

De acuerdo con la Tabla 12 la mejor alternativa para controlar los motores es el driver TB6600 debido a las características del voltaje de operación, control de corriente, protecciones eléctricas y resolución de pasos. En la Figura 21 se puede observar el modelo de driver TB6600 seleccionado.

### Figura 21

*Driver para motor paso a paso TB6600*



*Nota.* Tomado de (Novatronic, 2020b)

### **Selección del microcontrolador**

Para seleccionar el microcontrolador, se tuvo que tener en cuenta que la plegadora es una máquina CNC y que para realizar los movimientos del doblado del material se va a utilizar el código G generado por el software y con el uso de motores paso a paso, por lo que, existen pocas tarjetas de control que conviertan el código G a movimientos de los motores y que estén disponibles en el mercado.

Además, el microcontrolador debe ser capaz de poder controlar 3 ejes o más debido a que la plegadora contará con 3 ejes (X, Z y A), debe ser de control simple mediante el uso de un software y que no tenga un costo muy elevado.

Con los requerimientos establecidos, el microcontrolador o la tarjeta de control seleccionado es el MACH3 USB 4 ejes debido a que permite la lectura de código G, es compatible con el software Mach3, permite el control de hasta 4 ejes, se encuentra disponible en el país y tiene un costo accesible.

Este microcontrolador cuenta con una interfaz USB por lo que puede ser utilizado en cualquier computadora que cuente con una versión mayor o igual a Windows 8 y esto ayudará a que no exista problemas de compatibilidad lo que conlleva a que sea más compacta y profesional para una máquina CNC. En la Figura 22 se muestra la tarjeta de control seleccionada.

### **Figura 22**

*Tarjeta de control MACH3 USB 4 ejes*



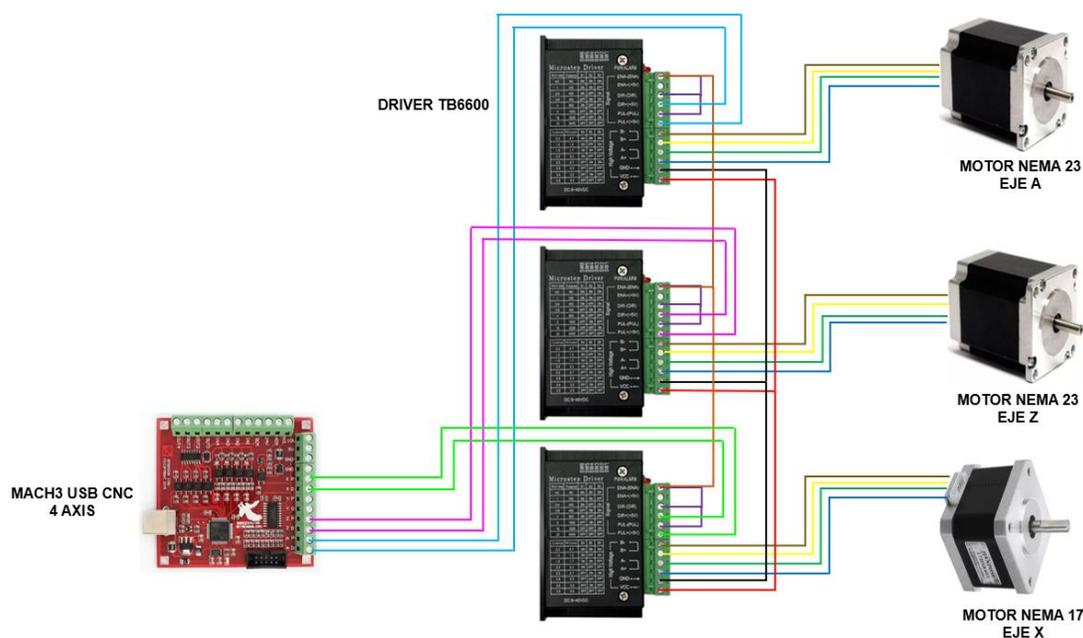
*Nota. Tomado de (SanDoRobotics, 2022a)*

### **Conexión de los componentes eléctricos y electrónicos**

En la Figura 23 se puede observar la conexión de los componentes seleccionados, es decir, motores, drivers y microcontrolador. En el Anexo 3, se visualiza el plano eléctrico y electrónico.

## Figura 23

### Conexión de los componentes



Además, en la conexión se añade un conector con interruptor que va conectado con la fuente para que la máquina pueda ser conectada en cualquier lugar deseado y también pueda cortar el paso de energía con el interruptor sin necesidad de desconectar la fuente.

### Firmware del microcontrolador

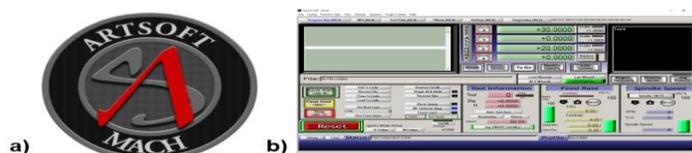
Para (Romero, 2022), el firmware es un tipo de programa de software que permite controlar y comunicarse con el hardware de un equipo de forma directa. El firmware sirve para comunicarse con los dispositivos hardware de un sistema. En el caso de la tarjeta de control Mach3 USB 4 ejes, no cuenta con un firmware específico debido a que esta tarjeta requiere del software Mach3 para poder comunicarse con la computadora y controlar motores o ejes del sistema CNC.

El programa Mach3 es el software del microcontrolador con el mismo nombre, el cual está repleto de funciones y de uso común para los que necesitan un paquete de control CNC.

Interpreta el código G en el ordenador, pero envía comandos especiales de bajo nivel a la placa externa, en lugar de intentar temporizar los pulsos de paso por sí mismo (Favela, 2023). Este software permite controlar la secuencia de movimientos de la máquina CNC en los 3 ejes de trabajo y además, permite la interacción entre el usuario y la máquina plegadora, es decir, brinda una interfaz con múltiples opciones permitiendo al usuario realizar diferentes aplicaciones. Con este software se ejecuta la implementación de una interfaz de usuario a la máquina plegadora para mayor facilidad de uso.

## Figura 24

### Software Mach3

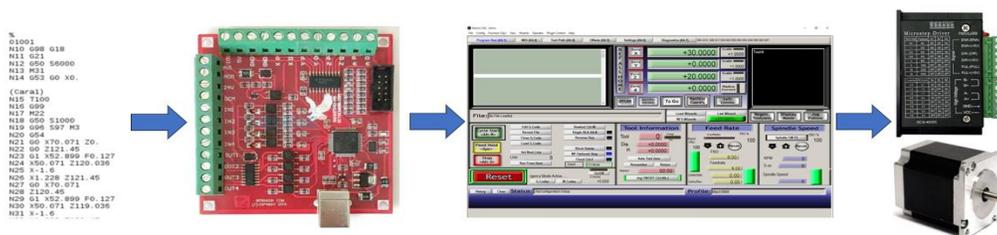


*Nota.* a) Logo del software, b) interfaz de usuario

El Mach3 USB 4 ejes simplemente va actuar como un puente entre el software Mach3 y los motores y drivers de la máquina. Hay que destacar que el software Mach3 es específico para Windows y no es un firmware integrado en la tarjeta de control

## Figura 25

### Diagrama de comunicación



*Nota.* Se genera el código G, se carga en la tarjeta de control Mach3 USB 4 ejes para luego usar el software Mach3 y enviar los movimientos a los drivers TB6600 de los motores

## Capítulo IV

### Implementación de la máquina plegadora

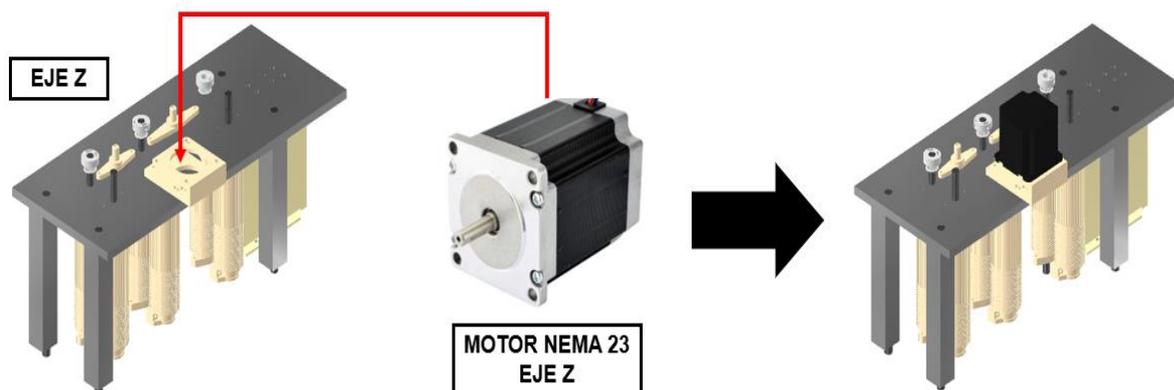
El presente capítulo proyecta la implementación de la máquina plegadora, es decir, se detalla la unión de los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos, la configuración de los motores, la alimentación para el funcionamiento de la máquina y, por último, el montaje final de la plegadora.

#### Implementación de los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos

La implementación de los sistemas consiste en integrar los aspectos mecánicos, eléctricos y electrónicos. Para empezar con la implementación de los sistemas de la plegadora, primero se inició con la unión de los componentes que conforman el eje Z, extrusión del material, luego se realiza la conexión con el motor seleccionado para este eje.

#### Figura 26

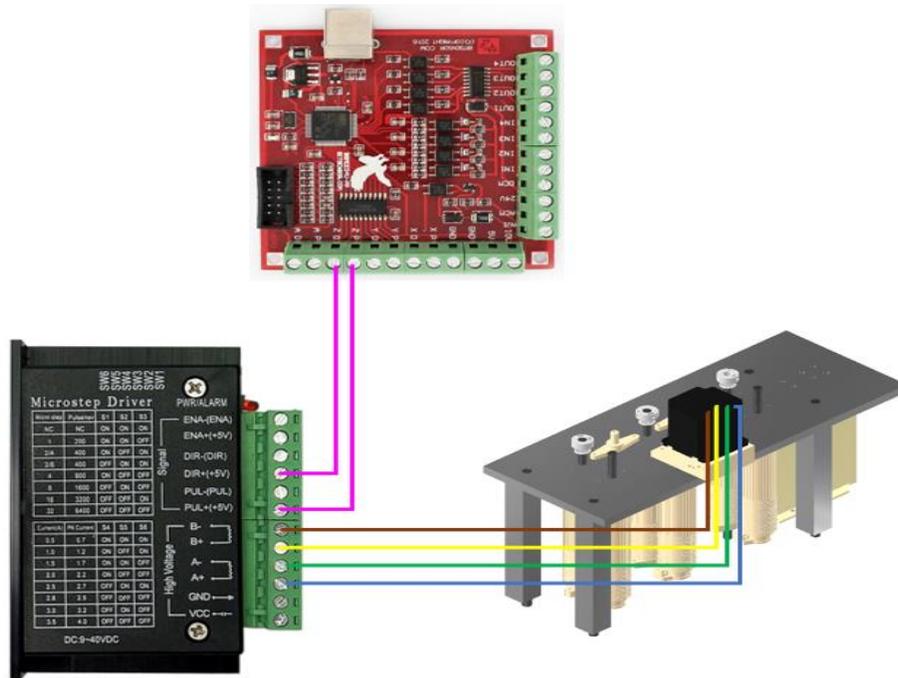
*Implementación del motor paso a paso NEMA 23 del eje Z*



En la Figura 27 se puede observar la ubicación e implementación del motor en el eje Z. Una vez realizado esto, se procede con la conexión del motor con el driver TB6600 y con la tarjeta de control Mach3 USB 4 ejes.

**Figura 27**

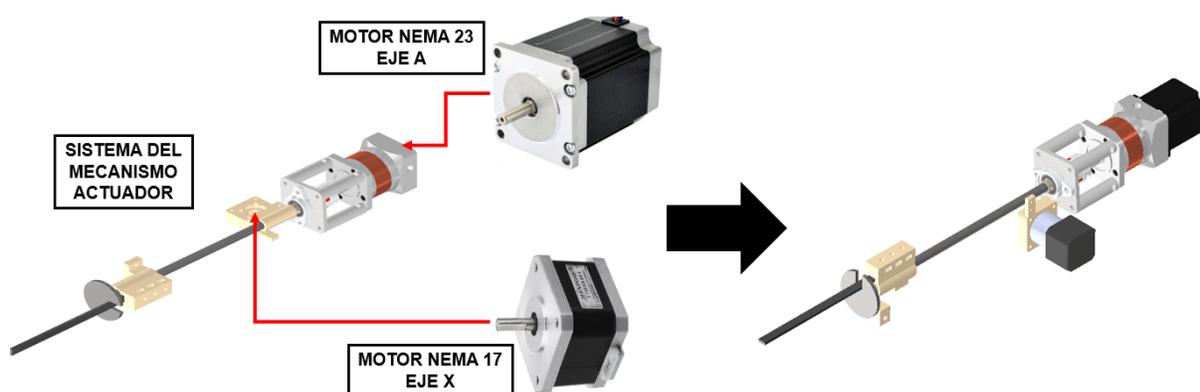
*Conexión del motor con el driver y la tarjeta de control*



Luego de la implementación y conexión del eje Z, se continúa con los ejes X y A los cuales son los encargados de realizar el doblado del material. En la Figura 28, se muestra la ubicación de los motores y la implementación junto con el sistema del mecanismo actuador.

**Figura 28**

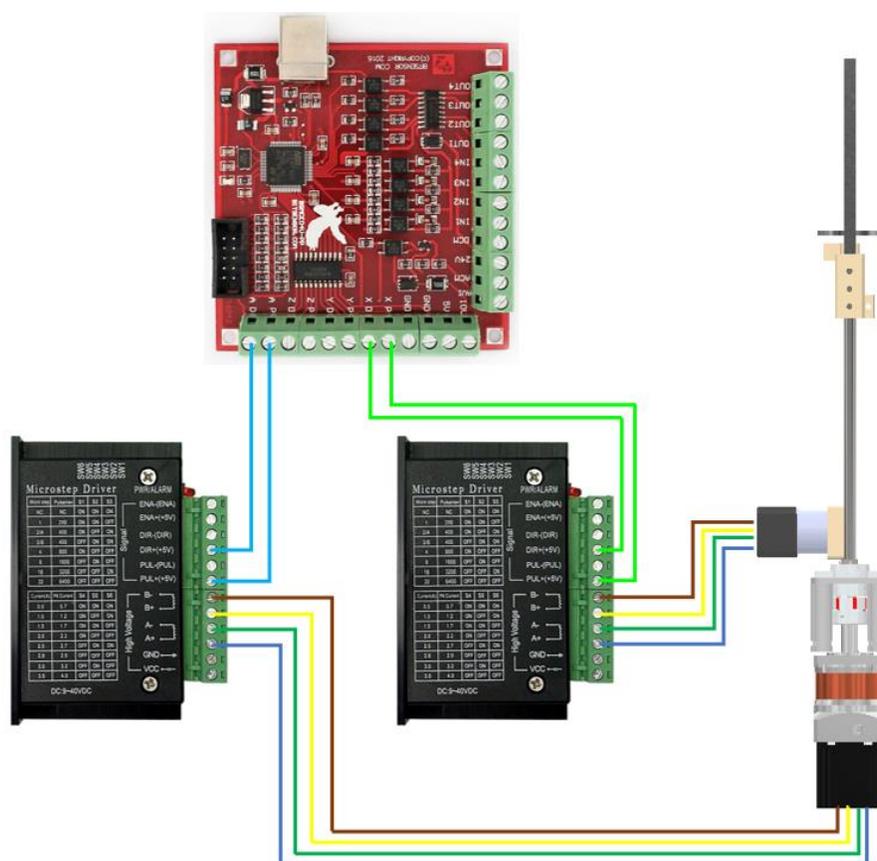
*Implementación de los motores para los ejes X y A*



A continuación, en la Figura 29 se muestra la conexión de los motores con los drivers TB6600 y la tarjeta de control Mach3 USB 4 ejes.

### Figura 29

*Conexión de los motores con los drivers y la tarjeta de control*

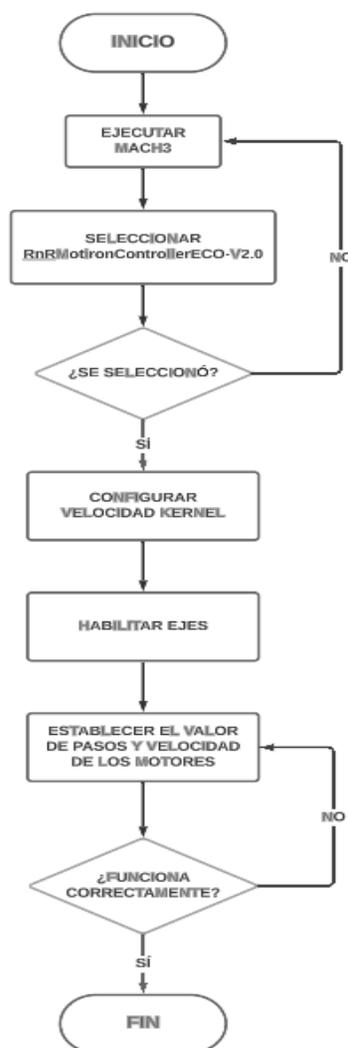


### Configuración de los motores

La configuración de los motores hace referencia a la regulación o calibración de los parámetros de los motores para que funcionen de forma óptima en la aplicación específica requerida. En este caso, para realizar la configuración de los motores, se debe hacer la comunicación de los motores, drivers y la tarjeta de control con el software Mach3 para ajustar los parámetros necesarios.

**Figura 30**

Diagrama de flujo del proceso de sintonización de los motores

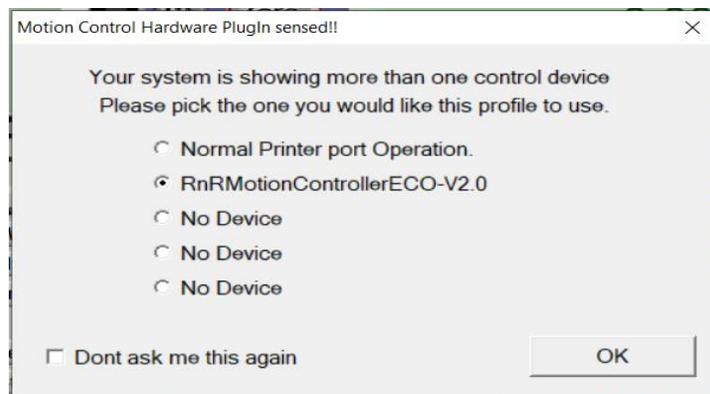


En la Figura 30 se visualiza el proceso para realizar la sintonización de los motores y para lograr esto, hay que seguir una pequeña serie de pasos que se detalla a continuación:

1. Ejecutar el software Mach3 y seleccionar la opción "RnRMotionControllerECO-V2.0" como se muestra en la Figura 31, esta opción permite que el software pueda comunicarse con la tarjeta de control Mach3 US 4 ejes.

**Figura 31**

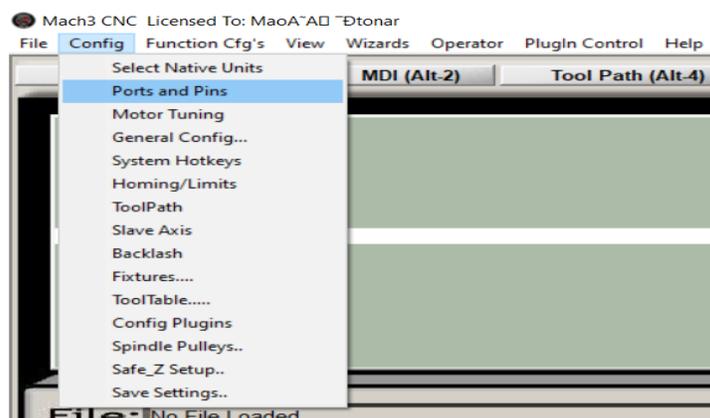
*Ventana de selección para comunicación con la tarjeta de control*



2. Se procede a ir a la barra de menú, Figura 32, hacer clic en la opción de “Config” y luego seleccionar “Port and Pins” para especificar ciertos parámetros.

**Figura 32**

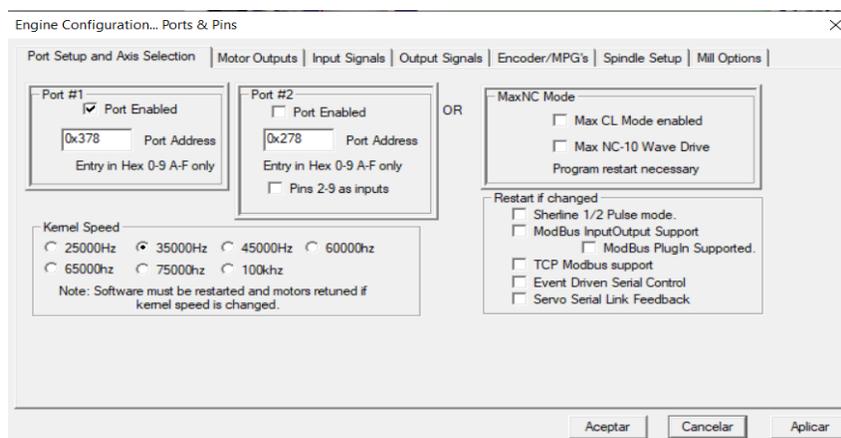
*Opción "Port and Pins"*



3. En la ventana de “Port and Pins”, aparece la opción de modificar la velocidad Kernel, la cual se refiere a la velocidad de transferencia de datos de la computadora con la tarjeta de control, en donde se va a especificar el valor de 35000 Hz siendo un valor óptimo para la comunicación como se especifica en la Figura 33.

**Figura 33**

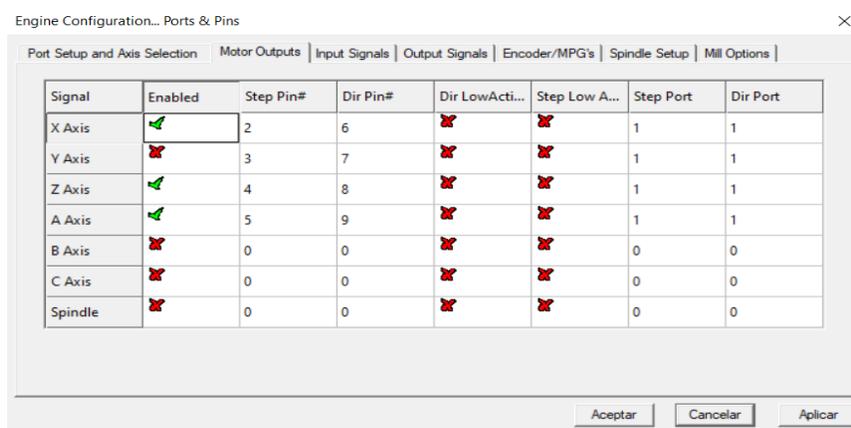
*Ventana de configuración de la velocidad Kernel*



4. En la misma ventana del paso 3, hay que dirigirse a la pestaña “Motor Outputs”, en donde se va a habilitar los ejes que se van a utilizar que en este caso son X, Z y A. Luego se hace clic en Aplicar y después en Aceptar como se detalla en la Figura 34.

**Figura 34**

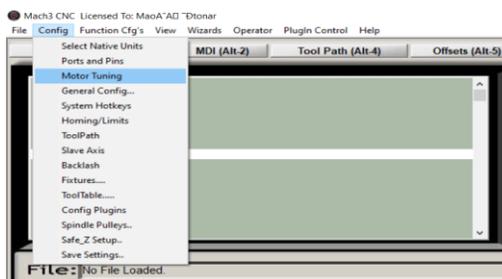
*Ventana de habilitación de los ejes*



5. En la barra de menú principal, seleccionar “Config” y hacer clic en la opción de “Motor Tuning”, Figura 35, para establecer los parámetros de los motores.

Figura 35

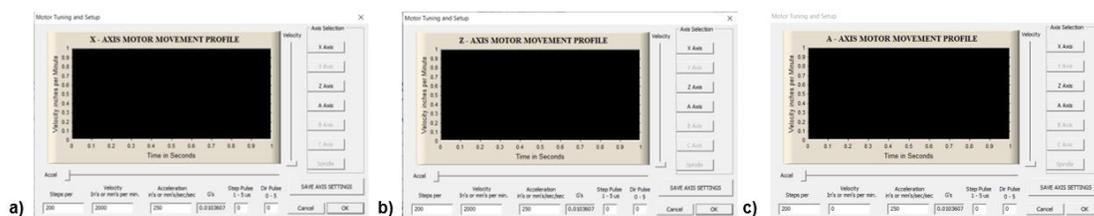
Opción "Motor Tuning"



6. En la ventana "Motor Tuning", se van a especificar los valores de los pasos, la velocidad y aceleración de los motores, los cuales van a depender específicamente de la aplicación en que se va a usar. Para este caso, luego de varias pruebas de calibración se especifica los valores de 200 pasos, 2000 mm/min para la velocidad del motor del eje X y para los ejes Z y A que necesitan más fuerza se establece un valor de 600 mm/min como se muestra en la Figura 36.

Figura 36

Configuración de las velocidades de los motores

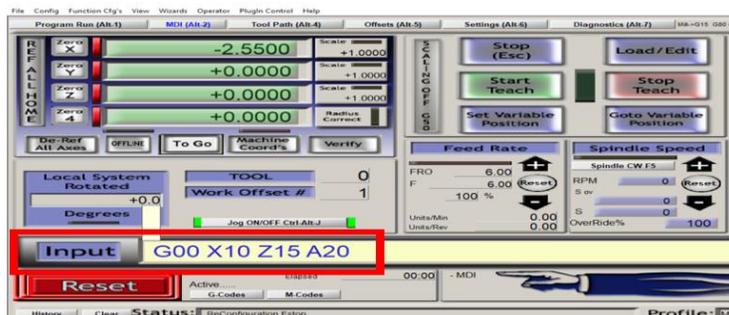


*Nota.* Configuración de pasos y velocidad del a) motor eje X, b) motor eje Z y c) motor eje A

Por último, para verificar si los parámetros establecidos son los más adecuados para la aplicación, se conecta la tarjeta de control a la computadora y en el software se procede a seleccionar la pestaña "MDI" debajo de la barra de menú y dirigirse a la barra "INPUT" para ingresar código G manualmente y comprobar el movimiento de los motores como se visualiza en la Figura 37.

**Figura 37**

Ventana de ingreso manual de código G



### Alimentación del sistema eléctrico – electrónico

La alimentación del sistema eléctrico y electrónico se refiere al suministro de energía que va a necesitar el sistema para que los componentes que conforman el sistema realicen sus funciones correctamente, es decir, se refiere a la fuente de alimentación conectada con los dispositivos. En base al consumo energético de los componentes se selecciona la fuente de alimentación, en donde, se usa dos motores a pasos NEMA 23 y un motor NEMA 17, un driver TB6600 de comunicación a la placa controladora por cada actuador y la tarjeta de control Mach3 USB 5 ejes. La suma de los valores de corriente se detalla a continuación:

*Motor Nema 23: 2,5 A*

*Motor Nema 17: 1.5 A*

*Driver TB6600: 100mA*

El consumo total será la suma de todas las corrientes en el circuito, en este caso, se obtiene un valor aproximado de 7 amperios. En base al amperaje y voltajes de los drives TB6600 de 24V a corriente continua, se selecciona una fuente de alimentación de 24V y 15A

La potencia requerida para el funcionamiento de los componentes electrónicos es de:

$$P = V * I \quad (11)$$

$$P = 24V * 15A$$

$$P = 360W$$

Para seleccionar el calibre de cable se analiza la corriente de la fuente a la red eléctrica en donde se obtiene:

$$I = \frac{P}{V} \quad (12)$$

$$I = \frac{360W}{110V}$$

$$I = 3,27A$$

En la Figura 38 se referencia los valores recomendados del calibre de cable en base al amperaje calculado.

### Figura 38

*Calibres de cables comerciales*

| Número AWG | Díámetro de mm | Sección en mm <sup>2</sup> | Número de espiras x cm | Kg. por kilómetro | Resistencia en Ω por Km | Corriente en Amperios |
|------------|----------------|----------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|
| 0000       | 11,86          | 107,2                      | -                      | -                 | 0,168                   | 319                   |
| 000        | 10,40          | 85,3                       | -                      | -                 | 0,197                   | 240                   |
| 00         | 9,226          | 67,43                      | -                      | -                 | 0,252                   | 190                   |
| 0          | 8,252          | 53,48                      | -                      | -                 | 0,317                   | 150                   |
| 1          | 7,348          | 42,41                      | -                      | 375               | 0,40                    | 120                   |
| 2          | 6,544          | 33,63                      | -                      | 295               | 0,40                    | 96                    |
| 3          | 5,827          | 26,67                      | -                      | 237               | 0,63                    | 78                    |
| 4          | 5,189          | 21,15                      | -                      | 188               | 0,80                    | 60                    |
| 5          | 4,621          | 16,67                      | -                      | 149               | 1,01                    | 48                    |
| 6          | 4,115          | 13,30                      | -                      | 118               | 1,27                    | 38                    |
| 7          | 3,665          | 10,55                      | -                      | 94                | 1,70                    | 30                    |
| 8          | 3,264          | 8,36                       | -                      | 74                | 2,03                    | 24                    |
| 9          | 2,906          | 6,63                       | -                      | 58,9              | 2,56                    | 19                    |
| 10         | 2,588          | 5,26                       | -                      | 46,8              | 3,23                    | 15                    |
| 11         | 2,305          | 4,17                       | -                      | 32,1              | 4,07                    | 12                    |
| 12         | 2,053          | 3,31                       | -                      | 29,4              | 5,13                    | 9,5                   |
| 13         | 1,828          | 2,63                       | -                      | 23,3              | 6,49                    | 7,5                   |
| 14         | 1,628          | 2,08                       | 5,6                    | 18,5              | 8,17                    | 6,0                   |
| 15         | 1,450          | 1,65                       | 6,4                    | 14,7              | 10,3                    | 4,8                   |
| 16         | 1,291          | 1,31                       | 7,2                    | 11,6              | 12,9                    | 3,7                   |
| 17         | 1,150          | 1,04                       | 8,4                    | 9,26              | 16,34                   | 3,2                   |
| 18         | 1,024          | 0,82                       | 9,2                    | 7,3               | 20,73                   | 2,5                   |
| 19         | 0,9116         | 0,65                       | 10,2                   | 5,79              | 26,15                   | 2,0                   |

*Nota.* Tomado de (Faradayos, 2020)

En este caso se obtuvo un valor de 3,27A por lo cual se selecciona un valor de calibre de cable comercial de 16 AWG. En la Figura 39 se visualiza la fuente seleccionada.

**Figura 39**

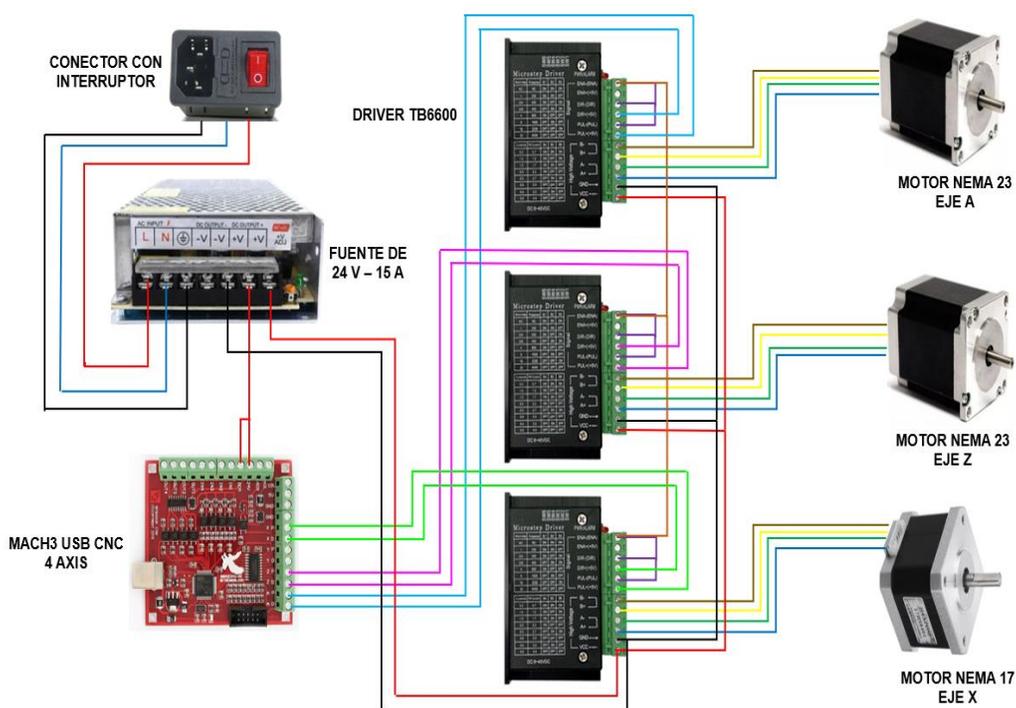
*Fuente de alimentación de 24 V y 15 A*



Una vez seleccionada la fuente y realizado el dimensionamiento de los cables de conexión, se procede a realizar la conexión con los dispositivos presentes en el sistema eléctrico-electrónico. En la Figura 40 se muestra la conexión con los componentes.

**Figura 40**

*Conexión del sistema eléctrico-electrónico con la fuente de alimentación*

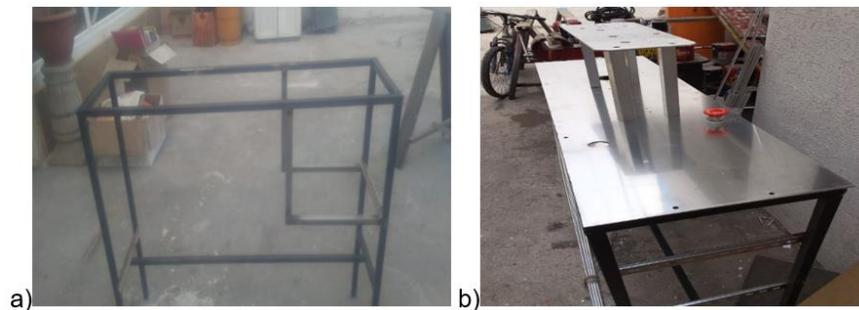


## Montaje final de la máquina plegadora de canal

Para el montaje final de la máquina, primero se empezó con la fabricación de la estructura mecánica teniendo en cuenta el diseño establecido. En la Figura 41a se puede apreciar la estructura y en la Figura 41b se indica el diseño final en donde se toma en cuenta el espacio requerido para el eje de extrusión del material y un paro de emergencia.

### Figura 41

*Fabricación de la estructura mecánica*



*Nota.* En el literal a) de la figura se aprecia la fabricación de la estructura y en el literal b) se indica el diseño final de la estructura

Luego de terminar con el diseño de la estructura, se procede a realizar la implementación del eje Z, eje de extrusión, para lo cual en la Figura 42 se muestra la unión final

### Figura 42

*Implementación del eje Z*



Una vez culminado con el acople del eje Z, se continúa con la implementación del sistema del mecanismo actuador, es decir, los ejes X y A que serán los encargados de realizar el doblado del material. En la Figura 43 se indica la unión de estos dos ejes.

### **Figura 43**

*Implementación de los ejes X y A*



Para terminar con el montaje de la plegadora, se procede a realizar las conexiones de los componentes eléctricos y electrónicos, motores, drivers, tarjeta de control y fuente de alimentación. En la Figura 44 se indica la implementación de los componentes previamente seleccionados.

### **Figura 44**

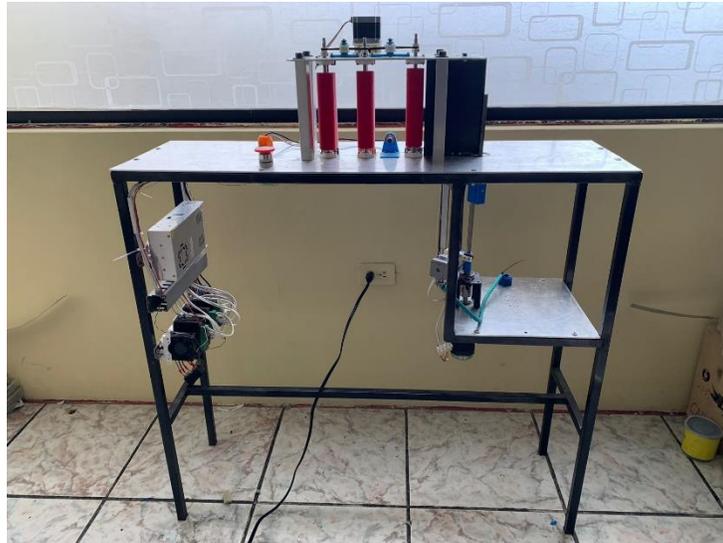
*Implementación de los componentes eléctricos y electrónicos*



En la Figura 45 se muestra el montaje final de la máquina plegadora con la unión de los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos. Para el mantenimiento de la máquina, revisar el Anexo 4.

### **Figura 45**

*Montaje final de la máquina plegadora*



## Capítulo V

### Pruebas y Resultados

Finalmente, después de culminar con el diseño y la construcción de la máquina plegadora de letras acanaladas, se inicia las pruebas de funcionamiento con el propósito de confirmar el desempeño con diferentes tipos de pruebas. Para empezar, se ejecuta una prueba del código G generado por el post procesador para verificar la trayectoria del perfil de la letra y luego realizar la comunicación con el software Mach3, revisar Anexo 5.

Luego se procede a realizar pruebas específicas en el proceso de plegado de las letras, en donde para este caso se lleva a cabo pruebas de calidad y pruebas de velocidad. Para la prueba de calidad se verifica si los doblados de la lámina de tol son precisos para que, al momento de formar la letra, los dobleces hayan sido señaladas correctamente. Finalmente, se lleva a cabo pruebas de velocidad en donde se realiza una comparación entre la velocidad de plegado con la máquina y el doblado manual de un operario.

Durante el proceso de pruebas, se hace la recopilación de datos para realizar un análisis con el fin de verificar y garantizar el funcionamiento de la máquina plegadora acorde a los requisitos previamente determinados. Cualquier desviación identificada o ajuste requerido es abordado de manera diligente, implementándose mejoras según sea necesario

Estas pruebas tienen una importancia fundamental debido a que respaldan la certificación de calidad y eficacia de la máquina plegadora de letras, además, de que aseguran el funcionamiento en diversas situaciones y aplicaciones posibles.

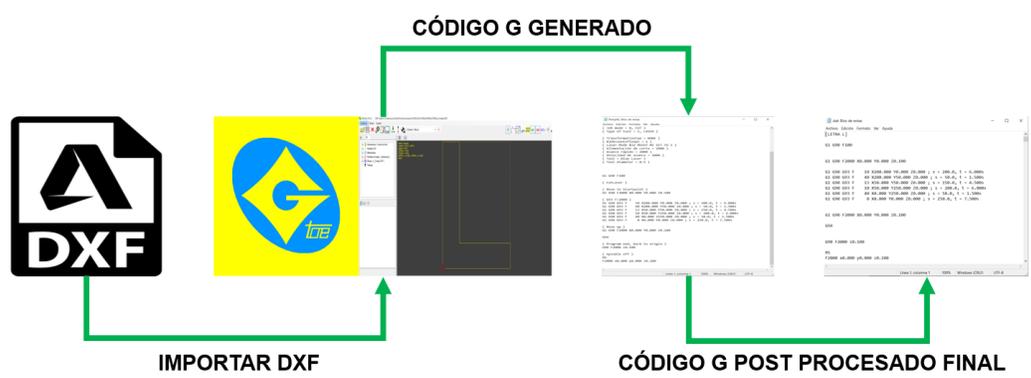
#### **Prueba del código generado para verificar la trayectoria**

Para la primera prueba, se inicia validando el código generado por el post procesador para comprobar si la trayectoria es la correcta. Para esto, se procede a generar el código G de diferentes letras con el software GRBL GRU, en donde para pruebas de código se especifica

que solo se desea generar el perfil de la letra. Para empezar con la prueba, primero se inicia importando el archivo DXF de la letra al software para que luego genere el código G y por último realizar un post procesado para tener el código final del perfil de la letra.

**Figura 46**

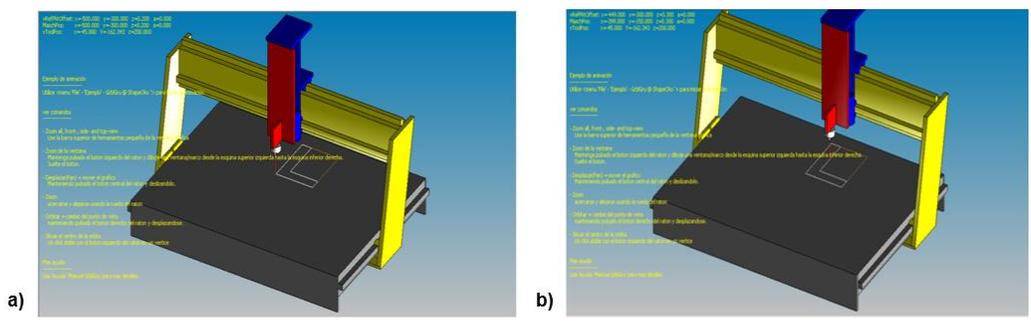
*Proceso para la generación de código G*



Si se desea verificar si el código generado es correcto, se puede realizar una visualización de la trayectoria de la letra en la máquina de prueba y simular para la comprobación como se muestra en la Figura 47.

**Figura 47**

*Prueba de la trayectoria generada*



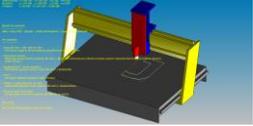
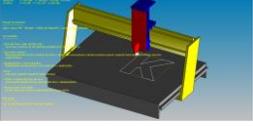
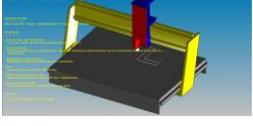
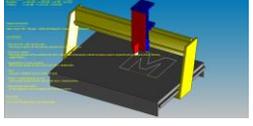
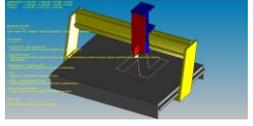
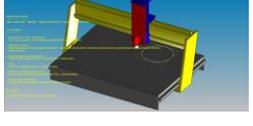
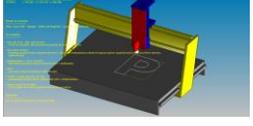
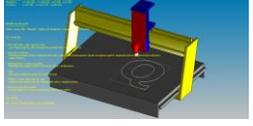
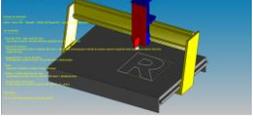
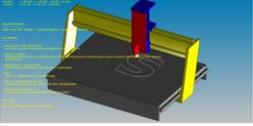
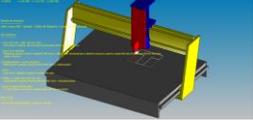
*Nota.* a) Trayectoria de la letra “L” y b) simulación de la trayectoria

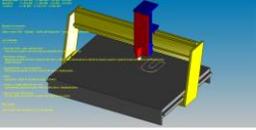
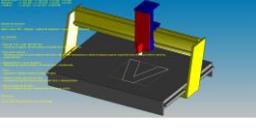
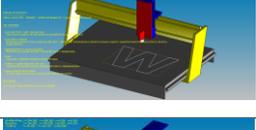
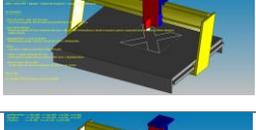
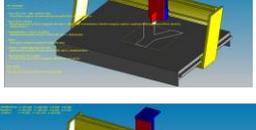
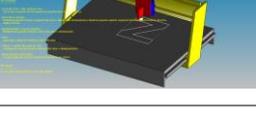
Para la comprobación de los códigos generados, se realiza la simulación de cada uno de los perfiles de las letras como se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13**

*Resultado de código para verificar la trayectoria*

| N° | Letra | Resultado de código | Imagen de la trayectoria |
|----|-------|---------------------|--------------------------|
| 1  | A     | Correcto            |                          |
| 2  | B     | Correcto            |                          |
| 3  | C     | Correcto            |                          |
| 4  | D     | Correcto            |                          |
| 5  | E     | Correcto            |                          |
| 6  | F     | Correcto            |                          |
| 7  | G     | Correcto            |                          |
| 8  | H     | Correcto            |                          |
| 9  | I     | Correcto            |                          |

| N° | Letra | Resultado de código | Imagen de la trayectoria  |
|----|-------|---------------------|---|
| 10 | J     | Correcto            |    |
| 11 | K     | Correcto            |    |
| 12 | L     | Correcto            |    |
| 13 | M     | Correcto            |    |
| 14 | N     | Correcto            |    |
| 15 | O     | Correcto            |  |
| 16 | P     | Correcto            |  |
| 17 | Q     | Correcto            |  |
| 18 | R     | Correcto            |  |
| 19 | S     | Correcto            |  |
| 20 | T     | Correcto            |  |

| N° | Letra | Resultado de código | Imagen de la trayectoria  |
|----|-------|---------------------|---|
| 21 | U     | Correcto            |    |
| 22 | V     | Correcto            |    |
| 23 | W     | Correcto            |    |
| 24 | X     | Correcto            |    |
| 25 | Y     | Correcto            |   |
| 26 | Z     | Correcto            |  |

### **Análisis de resultados**

Se realizó pruebas con todo el abecedario para verificar la trayectoria de los perfiles de las letras, en donde se confirma que los códigos generados son los correctos dando paso para que se pueda guardar los códigos generados y cargarlos al software Mach3 para que envíe estos códigos a los motores de los ejes de la máquina y trabajen adecuadamente.

### **Plegado de letras acanaladas**

Para las pruebas del plegado de letras acanaladas se realiza una prueba de calidad y velocidad.

### ***Prueba de calidad y velocidad***

La prueba de calidad se basa en que la máquina realice el doblado de la lámina en la distancia correcta para que al final, cuando todo el material haya sido extruido, el operario pueda formar la letra sin tener ningún tipo de desviación o forma desigual y la prueba de velocidad consiste en el tiempo que va a requerir la máquina para ejecutar todos los doblados del perfil de una letra. Para la prueba de calidad y velocidad, se realiza con 26 diferentes perfiles de letras en donde para evaluar la calidad, se realiza mediante la siguiente escala de calificación como se muestra en la Tabla 14.

**Tabla 14**

*Escala de calificación*

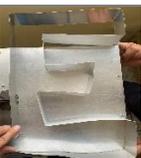
| <b>Escala</b> | <b>Descripción</b> |
|---------------|--------------------|
| 1             | insatisfactorio    |
| 2             | satisfactorio      |
| 3             | muy satisfactorio  |

Para calificar la calidad de las letras y velocidad de plegado, se realiza la prueba con 26 diferentes perfiles de letras que se muestran en la Tabla 15.

**Tabla 15**

*Prueba de calidad y velocidad de las letras plegadas*

| <b>N°</b> | <b>Letra</b> | <b>Calificación</b> | <b>Velocidad</b> | <b>Imagen</b>   |
|-----------|--------------|---------------------|------------------|---|
| 1         | A            | 2                   | 193              |  |

| N° | Letra | Calificación | Velocidad | Imagen  |
|----|-------|--------------|-----------|---|
| 2  | B     | 2            | 212       |    |
| 3  | C     | 3            | 185       |    |
| 4  | D     | 2            | 167       |    |
| 5  | E     | 3            | 243       |    |
| 6  | F     | 3            | 209       |   |
| 7  | G     | 1            | 303       |  |
| 8  | H     | 3            | 219       |  |
| 9  | I     | 3            | 191       |  |
| 10 | J     | 3            | 174       |  |

| N° | Letra | Calificación | Velocidad | Imagen  |
|----|-------|--------------|-----------|---|
| 11 | K     | 2            | 295       |    |
| 12 | L     | 3            | 166       |    |
| 13 | M     | 2            | 318       |    |
| 14 | N     | 2            | 276       |    |
| 15 | O     | 3            | 109       |   |
| 16 | P     | 2            | 188       |  |
| 17 | Q     | 1            | 322       |  |
| 18 | R     | 2            | 274       |  |
| 19 | S     | 1            | 297       |  |
| 20 | T     | 3            | 208       |  |

| N°               | Letra | Calificación | Velocidad | Imagen  |
|------------------|-------|--------------|-----------|---|
| 21               | U     | 3            | 177       |    |
| 22               | V     | 3            | 211       |    |
| 23               | W     | 2            | 345       |    |
| 24               | X     | 2            | 324       |    |
| 25               | Y     | 3            | 289       |   |
| 26               | Z     | 2            | 291       |  |
| <b>Promedio:</b> |       | 2.35         | 237.9     |   |

### **Análisis de resultados**

Se obtuvieron los resultados con un promedio un poco mayor a satisfactorios, lo cual se considera aceptable para confirmar que la máquina si realiza el doblado de todas las letras del abecedario. En letras específicas como la G, Q y S se obtuvo una calificación insatisfactoria debido a la complejidad de los ángulos de doblado, por lo cual, se debe corregir los ángulos en el código generado para obtener mejores resultados. En lo que respecta la velocidad, se obtuvo un tiempo promedio de 237.9 segundos, lo cual equivale a casi 4 minutos recibiendo un valor aceptable debido a que un operario normalmente requiere de un tiempo aproximado de 10

minutos para fabricar una letra de canal. Por lo tanto, la máquina ayuda a disminuir este tiempo en más del 50% lo que significa que ayudaría a fabricar más letras por hora.

### **Corrección de error en la medidas plegadas**

La corrección de error se refiere a modificar las mediciones de la lámina doblada con el fin de corregir las discrepancias o inexactitudes que surgieron en el proceso de plegado. Estas correcciones se las aplica para garantizar que los doblados de la lámina estén realizadas a las medidas específicas y se pueda formar el perfil de la letra. Por lo tanto, para la corrección de la medidas, se toma en cuenta las letras que tuvieron menor calificación en la Tabla 15 de la prueba de calidad las cuales fueron las letras G, Q y S.

Para realizar la corrección de las letras mencionadas, se puede modificar el archivo DXF de la letra con un software o cambiar los ángulos de doblado en el código generado de las letras. Para este caso, se modificó el código G y se procedió a ejecutar nuevamente el proceso de doblado con la máquina en donde se obtuvieron mejores resultados como se visualiza en la Tabla 16. Para la escala de calificación, se usó la indicada en la Tabla 14.

**Tabla 16**

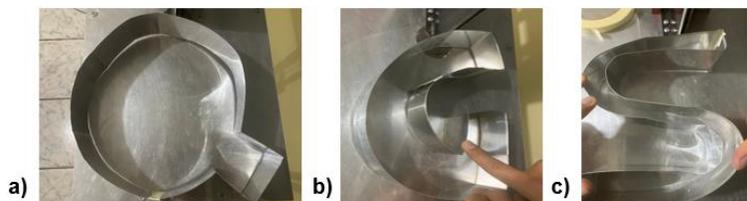
*Corrección de las medidas plegadas*

| <b>N°</b> | <b>Letra</b> | <b>Calificación<br/>antigua</b> | <b>Calificación<br/>actual</b> |
|-----------|--------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 1         | G            | 1                               | 2                              |
| 2         | Q            | 1                               | 3                              |
| 3         | S            | 1                               | 2                              |

Después de editar el código G y realizar nuevamente la prueba con la máquina, se obtuvieron resultados más satisfactorios a comparación de los que se recibió anteriormente. En la Figura 48 se visualiza el resultado de las letras.

## Figura 48

### Letras corregidas



Nota. a) Letra “Q”, b) letra “G” y c) letra “S”

### Validación de hipótesis

Con el fin de verificar la validación de la hipótesis, se lleva a cabo un estudio estadístico basado en la prueba de chi cuadrado, en donde el análisis se realiza fabricando 20 perfiles de letras con la máquina. El propósito principal consiste en determinar si existe un aumento de la producción en términos de satisfacción y duración del proceso.

Para el análisis se tiene en consideración la calidad de las letras fabricadas evaluando la satisfacción lograda junto con el tiempo que se requiere para que la máquina realice los plegados necesarios para formar cada letra. Con el objetivo de lograr lo mencionado, se realiza una recopilación de datos pertinentes que muestran la satisfacción obtenida de los doblados de las letras y a la vez, una comparación de cuantas letras fabrica la máquina y cuantas fabrica un operario sin la máquina en un tiempo de 60 minutos, como se visualiza en la Tabla 17. Mediante la aplicación de la prueba estadística de chi cuadrado, se procede a comparar los datos recopilados y a valorar si se presenta un incremento o disminución en la producción de letras acanaladas. Este método consiste en determinar si existe una relación entre dos variables cualitativas las cuales son hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alternativa ( $H_1$ ).

$H_0$ : La máquina plegadora no aumenta la producción de letras acanaladas en la empresa IDEART ubicada en Ambato

$H_1$ : La máquina plegadora aumenta la producción de letras acanaladas en la empresa IDEART ubicada en Ambato

**Tabla 17**

*Comparación de producción de las letras acanaladas*

| <b>Dato</b>                     | <b>Satisface</b> | <b>No Satisface</b> | <b>Total</b> |
|---------------------------------|------------------|---------------------|--------------|
| Con máquina plegadora de letras | 12               | 2                   | 14           |
| Sin máquina plegadora de letras | 5                | 1                   | 6            |
| <b>Total</b>                    | <b>17</b>        | <b>3</b>            | <b>20</b>    |

Como se muestra en la tabla, con la máquina plegadora se realiza diez perfiles de letras mientras que un operario sin la máquina plegadora con el mismo tiempo, solo fabrica 5 perfiles de letras. A partir de los resultados, se procede a calcular las frecuencias mediante la siguiente ecuación:

$$F_{ij} = \frac{O_i * O_j}{O} \quad (13)$$

Donde:

- $F_{ij}$  = Frecuencia esperada para la fila i de la columna j
- $O_i$  = Valor total de la fila
- $O_j$  = Valor total de la columna
- $O$  = Total de muestras

Reemplazando los valores en la ecuación 11, se obtienen los siguientes valores:

**Tabla 18**

*Tabla de frecuencias teóricas*

| Dato                            | Satisface | No Satisface |
|---------------------------------|-----------|--------------|
| Con máquina plegadora de letras | 11.9      | 0.9          |
| Sin máquina plegadora de letras | 11.9      | 0.9          |

Para el cálculo de chi cuadrado, se utiliza la siguiente fórmula:

$$x^2 = \sum_{i=1}^f \sum_{j=1}^k \frac{(O_{ij} - F_{ij})^2}{F_{ij}} \quad (14)$$

Donde:

- $x^2$  = Chi cuadrado calculado
- $f$  = número de filas
- $k$  = número de columnas
- $O_{ij}$  = Frecuencia observada en la fila  $i$  de la columna  $j$

$$x^2 = \frac{(12 - 11.9)^2}{11.9} + \frac{(2 - 0.9)^2}{0.9} + \frac{(5 - 11.9)^2}{11.9} + \frac{(1 - 0.9)^2}{0.9}$$

$$x^2 = 0.001 + 1.344 + 4.001 + 0.111$$

$$x^2 = 5.357$$

Luego de calcular el valor de chi cuadrado, se procede a calcular el número de grados de libertad de la siguiente forma:

$$v = (f - 1)(k - 1) \quad (15)$$

$$v = (2 - 1)(2 - 1)$$

$$v = 1$$

Una vez calculado los grados de libertad, se procede a utilizar la tabla de distribución de chi cuadrado, Figura 49, en donde para ubicar el valor se utiliza los grados de libertad y un nivel de confianza de 0.05.

**Figura 49**

Valor en la tabla de distribución de Chi-cuadrado

| v/p | 0,001   | 0,0025  | 0,005   | 0,01    | 0,025   | 0,05    | 0,1     | 0,15    | 0,2     | 0,25    | 0,3     | 0,35    | 0,4     | 0,45    | 0,5     |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1   | 10,8274 | 9,1404  | 7,8794  | 6,6349  | 5,0239  | 3,8415  | 2,7055  | 2,0722  | 1,6424  | 1,3233  | 1,0742  | 0,8735  | 0,7083  | 0,5707  | 0,4549  |
| 2   | 13,8160 | 11,9827 | 10,5965 | 9,2104  | 7,3778  | 5,9915  | 4,6052  | 3,7942  | 3,2189  | 2,7726  | 2,4079  | 2,0996  | 1,8326  | 1,5970  | 1,3863  |
| 3   | 16,2660 | 14,3202 | 12,8381 | 11,3449 | 9,3484  | 7,8147  | 6,2514  | 5,3170  | 4,6416  | 4,1083  | 3,6649  | 3,2831  | 2,9462  | 2,6430  | 2,3660  |
| 4   | 18,4602 | 16,4238 | 14,8602 | 13,2767 | 11,1433 | 9,4877  | 7,7794  | 6,7449  | 5,9086  | 5,3853  | 4,8784  | 4,4377  | 4,0446  | 3,6871  | 3,3567  |
| 5   | 20,5147 | 18,3854 | 16,7496 | 15,0863 | 12,8325 | 11,0705 | 9,2363  | 8,1152  | 7,2893  | 6,6257  | 6,0644  | 5,5731  | 5,1319  | 4,7278  | 4,3515  |
| 6   | 22,4575 | 20,2491 | 18,5475 | 16,8119 | 14,4494 | 12,5916 | 10,6446 | 9,4461  | 8,5581  | 7,8408  | 7,2311  | 6,6948  | 6,2108  | 5,7652  | 5,3481  |
| 7   | 24,3213 | 22,0402 | 20,2797 | 18,4753 | 16,0128 | 14,0671 | 12,0170 | 10,7479 | 9,8032  | 9,0371  | 8,3834  | 7,8061  | 7,2832  | 6,8000  | 6,3458  |
| 8   | 26,1239 | 23,7742 | 21,9549 | 20,0902 | 17,5345 | 15,5073 | 13,2616 | 12,0271 | 11,0301 | 10,2189 | 9,5245  | 8,9094  | 8,3505  | 7,8325  | 7,3441  |
| 9   | 27,8767 | 25,4625 | 23,5893 | 21,6660 | 19,0228 | 16,9190 | 14,6837 | 13,2880 | 12,2421 | 11,3857 | 10,6564 | 10,0060 | 9,4136  | 8,8632  | 8,3428  |
| 10  | 29,5879 | 27,1119 | 25,1881 | 23,2093 | 20,4832 | 18,3070 | 15,9872 | 14,5339 | 13,4420 | 12,5489 | 11,7807 | 11,0971 | 10,4732 | 9,8922  | 9,3418  |
| 11  | 31,2635 | 28,7291 | 26,7569 | 24,7250 | 21,9200 | 19,6752 | 17,2750 | 15,7671 | 14,6314 | 13,7007 | 12,8987 | 12,1836 | 11,5298 | 10,9109 | 10,3410 |
| 12  | 32,9092 | 30,3182 | 28,2897 | 26,2170 | 23,3367 | 21,0261 | 18,5493 | 16,9893 | 15,8120 | 14,8454 | 14,0111 | 13,2661 | 12,5838 | 11,9463 | 11,3403 |

Se visualiza que el valor de tabla es 3.8415, por lo tanto, se hace una comparación entre el valor de tabla y el valor calculado para verificar si se acepta o se rechaza la hipótesis nula. Para ello, de acuerdo a la siguiente teoría se tiene que:

- Si  $x^2 > x_{tabla}^2 \rightarrow H_0$  se rechaza
- Si  $x^2 < x_{tabla}^2 \rightarrow H_0$  se acepta

Entonces, según los valores obtenidos se concluye que:

$$x^2 = 5.357$$

$$x_{tabla}^2 = 3.8415$$

$$x^2 > x_{tabla}^2$$

$$5.357 > 3.8415$$

Por lo tanto, como el valor de chi cuadrado calculado es mayor que el de la tabla, se determina que la hipótesis nula se rechaza y se acepta la hipótesis alternativa, lo cual significa que la máquina plegadora de letras si es capaz de aumentar la producción de las letras acanaladas en la empresa IDEART ubicada en Ambato.

## Capítulo VI

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- Se diseñó y construyó una máquina plegadora de letras acanaladas de 1000 x 300 x 900 mm de dimensiones que está conformado por un sistema mecánico, sistema eléctrico y electrónico y un sistema de generación de trayectorias la cual contribuye en el aumento de la producción de letras 3D o letras acanaladas en la empresa IDEART.
- Se diseñó la estructura mecánica de la máquina plegadora con base a la norma NTE INEN 1641 MUEBLES DE OFICINA, ESCRITORIOS Y MESAS para determinar la altura que tiene la máquina, en donde al ser una mesa de altura fija se concluyó que es de tipo C y puede tener una altura de hasta 1050 mm. Para el material de la máquina, se utilizó la norma NTE INEN 2415 TUBOS DE ACERO AL CARBONO PARA APLICACIONES ESTRUCTURALES Y USOS GENERALES. REQUISITOS la cual, al especificar que se usa tubos de acero cuadrado, recomienda utilizar el material ASTM A36 para la fabricación de la estructura.
- Se seleccionaron los componentes eléctricos y electrónicos de la máquina plegadora en donde, los elementos del sistema constan de dos motores NEMA 23, un motor NEMA 17, tres drivers para motores paso a paso TB6600, un microcontrolador o tarjeta de control MACH 3 USB 4 ejes y una fuente de alimentación de 24V y 15A. Estos componentes fueron seleccionados con base a las necesidades establecidas por el cliente.
- Se construyó la máquina plegadora con los componentes seleccionados previamente y a continuación se realizó las pruebas de funcionalidad en donde se utilizó el software Mach3 de la tarjeta de control para ingresar código G manualmente y verificar que los componentes tanto mecánicos como eléctricos y electrónicos trabajan correctamente.

- Se implementó un sistema de control numérico computarizado a los actuadores de la máquina plegadora, es decir, al utilizar el software del microcontrolador Mach3 se realiza la sintonización de los motores en donde se configura la velocidad adecuada para cada actuador y mediante código G se controla la posición de cada uno.
- Se usó una interfaz de usuario para monitoreo y operación de la máquina, la cual consta del software GRBL GRU que permite visualizar la simulación de las trayectorias de las letras y generación del código G; y del software Mach3 en donde se puede configurar los parámetros de los actuadores en caso de que exista alguna desajuste en el funcionamiento de la máquina.

## Recomendaciones

- Antes de iniciar con el uso de la máquina, se recomienda verificar que los parámetros de los motores sean los correctos debido a que, si existe alguna variación de estos valores, la fuerza y velocidad de los motores cambiará y podría afectar al funcionamiento de la plegadora.
- Se recomienda leer el manual de usuario de la máquina plegadora de letras antes de utilizarlo para conocer los debidos pasos que se deben seguir, las características y facilitar la interacción.
- Se recomienda hacer más uso de este tipo de máquinas debido a que ayudan y contribuyen a las empresas para facilitar ciertos procesos que pueden ser riesgosos además de optimizar el rendimiento de fabricación de los productos manufacturados por la empresa.
- Durante el funcionamiento de la máquina, se sugiere no dejar funcionando la máquina sin la supervisión de ningún operario, debido a que durante el plegado de la lámina puede existir alguna colisión del material lo que provocaría un desajuste en la extrusión y la calidad de la letra estaría perjudicada.
- Una vez obtenido el código G del perfil de la letra que se desea plegar, se recomienda hacer una revisión del código con el propósito de corregir o eliminar alguna línea que pueda afectar al funcionamiento de la máquina.

## Bibliografía

- Aceropedia. (s.f.). *Dobladoras de láminas* . Retrieved June 5, 2023, from <https://aceropedia.com/elementos-construcciones/dobladoras-de-lamina/>
- ADHMT. (2022a, March 30). *Qué es la plegadora: La guía definitiva de preguntas frecuentes*. <https://www.adhmt.com/es/que-es-el-freno-de-presion/>
- ADHMT. (2022b, May 7). *Qué es el plegado de la plegadora ?*. <https://www.adhmt.com/es/que-es-el-freno-de-prensa-doblado/>
- Baca, G. (2001). *evaluacion-de-proyectos-gabriel-baca-urbina-corregido*. 4.
- BRR. (2022). *¿Cómo elegir correctamente una Banda de Transmisión de potencia? - BRR Binasa*. <https://brr.mx/banda-de-transmision-de-potencia/>
- Codimar. (s.f.). *Componentes para la fabricación de Rodillos*. Retrieved August 16, 2023, from <https://www.rodilloscodimar.com/componentes-para-la-fabricacion-de-rodillos/>
- Cortés, A. (2013, May 23). *Modelos (construccion y estructura)* . <https://modelos2andracortes.blogspot.com/2013/05/doblado-y-curvado-de-metales.html>
- De Máquinas y Herramientas. (2012, May 26). *Plegadoras de Chapas*. <https://www.demaquinasyherramientas.com/maquinas/plegadoras-de-chapas>
- DIPAC. (s.f.). *Catálogo DIPAC*. Retrieved August 16, 2023, from <https://dipacmanta.com/producto/tubos/tubo-estructural/tubo-estructural-cuadrado-negro/>
- Favela, C. (2023, April 26). *Los mejores programas CNC de 2023 (15 son gratuitos)* . <https://all3dp.com/es/2/mejor-programa-cnc-gratuito/>
- Feysama. (2019). *Calcular el tonelaje de plegado* . <https://www.feysama.com/blog-metalurgica/calculo-tonelaje-plegado-plegadora/>

Gestión de compras. (s.f.). *Plegado de chapa*. Retrieved June 5, 2023, from

<https://www.gestiondecompras.com/es/productos/conformado-de-chapa/plegado-de-chapa/>

HELPER. (2018). *Plegadora manual PMG 2040 X 2,5* . <https://www.helfer.es/plegadora-manual-pmg-2040-x-2,5-/>

HELLER. (2019). *PLEGADORA HIDRÁ• ULICA HELLER PCB63x2000*.

<https://www.hellermaquinaria.com/catalogo/plegadora-hidraulica-heller-pcb63x2000/>

Heller. (2020). *Las ventajas de tener una plegadora hidráulica en tu taller de mecanizado*.

<https://www.hellermaquinaria.com/las-ventajas-de-tener-una-plegadora-hidraulica-en-tu-taller-de-mecanizado/>

KY Plastics. (2017, October 11). *Ventajas y desventajas de TPU y TPR*. [http://es.ky-](http://es.ky-plastics.com/info/advantages-and-disadvantages-of-tpu-and-tpr-22069335.html)

[plastics.com/info/advantages-and-disadvantages-of-tpu-and-tpr-22069335.html](http://es.ky-plastics.com/info/advantages-and-disadvantages-of-tpu-and-tpr-22069335.html)

Mercado, J. (2022, February 1). *Todo lo que necesita saber para elegir plegadora*.

<https://www.joseangelmercado.com/blog/todo-lo-que-necesita-saber-para-elegir-plegadora/>

MIMSA. (s.f.). *LAD-362 Prensa dobladora mecánica modelo 15010*. Retrieved June 5, 2023,

from <https://mimaquinaria.com/dobladoras-de-lamina-y-placa/844-lad-362-prensa-dobladora-mecanica-modelo-15010-capacidad-150-ton-x-12ft-marca-cyрил-bath>

Molinero, C. (2019, January 21). *Conceptos básicos del plegado de chapa*.

<https://www.interempresas.net/Deformacion-y-chapa/Articulos/232340-Conceptos-basicos-del-plegado-de-chapa.html>

Morcillo, M. (2019, June 24). *¿Qué es una dobladora manual de lámina?*

<https://blog.laminasyaceros.com/blog/que-es-una-dobladora-de-lamina>

Mott, R. (2009). *Resistencia\_de\_Materiales-5ta-Ed-ROBERT-L.-MOTT (1)*. 5.

- NEBRINOX. (2020, November 12). *Proceso y tipos de plegado de chapa industrial* .  
<https://www.nebrinox.com/proceso-tipos-plegado-chapa-industrial/>
- NEBRINOX. (2021, May 28). *Los factores que influyen en el plegado de chapa industrial*.  
<https://www.nebrinox.com/los-factores-influyen-plegado-chapa-industrial/>
- Novatronic. (2020a). *NEMA 17 Motor paso a paso*.  
<https://novatronicec.com/index.php/product/motor-paso-nema17-5v-0-8a-18-200pasos-2-4kg-cm/>
- Novatronic. (2020b). *TB6600 Driver para motor paso a paso* .  
<https://novatronicec.com/index.php/product/tb6600-driver-para-motor-paso-a-paso/>
- Peñarreta, C. (2022, November 30). *Diseño de una plegadora hidráulica semi automática para láminas metálicas hasta 8 mm de espesor para la empresa Industrias DanPag*.  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23887/1/UPS-CT010233.pdf>
- Perez. (2021). *Dobladora CNC funcionamiento* . <https://precisionmetalfabricator.com/dobladora-cnc-funcionamiento/>
- Romero, J. (2022, February 5). *¿Qué es el Firmware y para qué sirve?* .  
<https://www.geeknetic.es/Firmware/que-es-y-para-que-sirve>
- Rosero, E. (2016, October). *DISEÑO CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL PROCESO DE CORTADO Y DOBLADO DE CHAPA METÁLICA*.  
[https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14647/1/68188\\_1.pdf](https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14647/1/68188_1.pdf)
- Salazar, B. (2019, September 3). *Procesos de conformado* .  
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/procesos-industriales/procesos-de-conformado/>

SanDoRobotics. (2022a). *Controlador de Motor a Pasos USBCNC de 4 Ejes MACH3 – 24V, 100KHz*. <https://sandorobotics.com/producto/hs2742/>

SanDoRobotics. (2022b). *Motor a Pasos NEMA 23 – 57STH76-2804A* .  
<https://sandorobotics.com/producto/hr0742/>

SINOTEC. (2019, March 18). *Dobladora De Letras De Canal*.  
[https://es.sinodigitech.com/blog/why-choose-channel-letter-bending-machine-\\_b3](https://es.sinodigitech.com/blog/why-choose-channel-letter-bending-machine-_b3)

SOME. (2020, January 10). *Plegado de chapa industrial: proceso y tipos de plegado*.  
<https://www.some.es/es/plegado-de-chapa-industrial-proceso-y-tipos-de-plegado>

T-Avance. (2020, June 6). *Qué es, proceso y tipos de plegado de chapa* . <https://www.t-avance.com/tipo-plegado-chapa/>

TecnoMáquinas. (2019). *Plegadora 1x610 mm PROFI* . <https://tecnomaquinas.es/cizalla-plegadora-curvadora/509-plegadora-1x610-mm-profi.html>

VARI Technology. (s.f.). *La mejor máquina dobladora de letras de canal todo en uno para todos los letreros*. Retrieved August 16, 2023, from <https://www.varibend.com/es/la-mejor-m%C3%A1quina-dobladora-de-letras-de-canal-todo-en-uno-para-todos-los-materiales>

VariSigns. (2021). *Dobladora de letras de canal* . <https://www.varisigns.com/es/dobladora-de-letras-de-canal/>

XQL. (2020). *Dobladora de letras de aluminio XQL-L130*. <https://es.gdxql.com/product-aluminum-letter-bending-machine-xql-l130.html>

Yangli. (2020). *Plegadora CNC de alta velocidad con control servo e hidráulico* .  
<http://prensachina.com/4-1-servo-hydraulic-press-brake.html>

**Anexos**