

**MECANIZACIÓN DEL PROCESO DE CORTADO DE LÁMINAS DE NÍQUEL  
EN LA PRODUCCIÓN DE BATERÍAS EN EL BATALLÓN DE  
MANTENIMIENTO DE COMUNICACIONES BAMCE**



Monografía de práctica profesional

**Yamith Libardo Piamba Galindez**

Director: Msc. Martin Alonso Muñoz Medina  
Codirector: PhD. Mariela Muñoz Añasco  
Asesor de la empresa: ST. Jhonatan Gómez

**Universidad del Cauca  
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Ingeniería en Automática Industrial  
Popayán, 2020**

## CONTENIDO.

CONTENIDO.....	2
ÍNDICE DE FIGURAS .....	5
ÍNDICE DE TABLAS. ....	7
INTRODUCCIÓN. ....	8
1.    CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	10
1.1.    Descripción del proceso. ....	10
1.2.    Proceso de diseño industrial.....	14
1.3.    Diseño CAD.....	16
2.    CAPÍTULO II: DEFINICIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS PARA LA MÁQUINA DE CORTE DE LÁMINAS DE NÍQUEL .....	17
2.1.    Reconocimiento del proceso e identificación de las actividades desarrolladas en el área de corte de láminas de níquel.....	17
2.2.    Identificación de necesidades.....	19
2.3.    Diseño del mecanismo. ....	20
2.4.    Elaboración de diseños básicos o bosquejos. ....	20
2.4.1.    Componentes de una cizalla.....	21
2.5.    Mecanismo biela manivela corredera.....	23
2.6.    Cilindro neumático.....	23
2.7.    Mesa de trabajo.....	24
2.8.    Sistema de rodillos.....	25
2.9.    Sistema de electroimanes.....	25
3.    CAPITULO III: DISEÑO CAD .....	27
3.1.    Cálculo de fuerzas para el corte de láminas de níquel.....	27
3.2.    Juego en el cizallado.....	28

3.3.	Selección del cilindro.....	29
3.4.	Ventosas electromagnéticas.....	29
3.5.	Motor paso a paso.....	30
3.6.	Guías lineales.....	30
3.7.	Planos de componentes y diseño CAD.....	30
3.8.	Mesa de trabajo.....	30
3.8.1.	Estructura de soporte del cilindro neumático.....	31
3.8.2.	Sistema de cuchillas.....	34
3.8.3.	Estructura.....	36
3.8.4.	Pisador.....	37
3.8.5.	Soporte de las ventosas electromagnéticas, guías lineales y de motores paso a paso.....	40
3.8.6.	Tolva.....	42
3.9.	Resumen de las piezas.....	42
3.10.	Ensamblaje del mecanismo.....	44
4.	Capítulo VI: EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO FUNCIONAL DEL MECANISMO.....	48
4.1.	Análisis estático de las piezas.....	48
4.1.1.	Soporte horizontal cilindro neumático.....	48
4.1.2.	Horquilla para pisador.....	51
4.1.3.	Base superior pisador.....	52
4.2.	Análisis de movimiento.....	53
5.	CAPÍTULO V: SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	56
5.1.	Esquema de potencia.....	57
5.2.	Esquema de control.....	58
5.3.	Estimación de costos.....	59

5.3.1.	Materias primas.....	59
5.3.2.	Piezas especializadas. ....	59
6.	CONCLUSIONES.....	62
7.	TRABAJOS FUTUROS.....	64
8.	BIBLIOGRAFÍA .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS.

<i>Figura 1: Circuito armado con láminas de níquel soldadas.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2: Diagrama de flujo del proceso de ensamble de baterías. ....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3: Puesto de trabajo del operario de corte. ....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 4: Proceso de corte de láminas de níquel. ....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5: Componentes de una cizalla. ....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 6: Ángulo de corte. ....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 7: Mecanismo biela manivela corredera.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 8: Cilindro neumático de doble efecto. ....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 9: Bosquejo preliminar de la mesa de trabajo. ....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 10: Juego en el cizallado.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 11: Mesa de trabajo, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b).....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 12: Soporte horizontal del cilindro, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b). .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 13: Soporte lateral izquierdo, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b). ....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 14: Soporte lateral derecho, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b). ....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 15: Soporte lateral corto, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b). ....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 16: Soporte lateral para guías lineales, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b).....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 17: Cuchilla superior, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b).....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 18: Cuchilla inferior, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b).....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 19: Horquilla para cuchillas, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b). ....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 20: Estructura, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b). ....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 21: Elementos del pisador, dibujos de detalle y diseño CAD: base superior (a), base inferior (b), goma de pisador (c), tapón superior (d), cilindro de contención superior de muelle de compresión (e), cilindro de contención inferior de muelle de compresión (f), horquilla de pisador (g). ....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 22: Soportes: Soporte vertical ventosas electromagnéticas (a), soporte motores paso a paso y ventosas electromagnéticas (b), soportes guías lineales (c), soporte horizontal guías lineales y de motores paso a paso (d).....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 23: Tolva. ....</i>	<i>42</i>

<i>Figura 24: Vista posterior isométrica explosionada del mecanismo.....</i>	44
<i>Figura 25: Vista isométrica explosionada del mecanismo.....</i>	44
<i>Figura 26: Vista dimétrica explosionada del mecanismo. ....</i>	45
<i>Figura 27: Vista anterior del mecanismo.....</i>	45
<i>Figura 28: Vista lateral derecha. ....</i>	46
<i>Figura 29: Vista general del mecanismo.....</i>	46
<i>Figura 30: Mallado de la pieza. ....</i>	50
<i>Figura 31: Soporte horizontal cilindro neumático: desplazamientos de la pieza, vista isométrica (a), vista lateral (b).....</i>	50
<i>Figura 32: Tensión de Von Mises de la pieza. ....</i>	51
<i>Figura 33: Horquilla pisador: sujeciones (a), ubicación de las fuerzas (b), desplazamientos totales (c), tensión de Von Mises (d). ....</i>	52
<i>Figura 34: Base superior pisador: sujeciones y fuerza (a), desplazamientos totales (b), tensión de Von Mises (c).....</i>	53
<i>Figura 35: Inicialización de los componentes del mecanismo, vista lateral izquierda (a), vista delantera (b).....</i>	54
<i>Figura 36: Movimiento de las ventosas electromagnéticas.....</i>	54
<i>Figura 37: Movimiento de cuchillas y pisador, movimiento 1 (a), movimiento 2 (b).....</i>	55
<i>Figura 38: Esquema de potencia. ....</i>	57
<i>Figura 39: Esquema de control.....</i>	58

## ÍNDICE DE TABLAS.

<i>Tabla 1. Sujeciones de la pieza.</i> .....	49
<i>Tabla 2: Fuerza aplicada a la pieza.</i> .....	49
<i>Tabla 3: Estimación de costos.</i> .....	60

## INTRODUCCIÓN.

A lo largo de la historia el hombre ha trabajado arduamente en el desarrollo de herramientas y máquinas cada vez más elaboradas para dar forma a los metales. Para el corte de chapa, la tijera o cizalla ha sido el instrumento más utilizado durante siglos. Cizallar se define como el cortado de un material por medio de una herramienta de corte de dos filos, en la cual los filos se mueven uno hacia el otro, presionando sobre la superficie a cortar hasta que se vence la resistencia del material a la tracción rompiéndolo y separándolo en dos [1]. En el proceso no hay producción de viruta. Cuando las dos cuchillas son rectas, la operación se llama cizallado. Otras operaciones donde las cuchillas tienen forma curva en los bordes, de punzones y matrices, reciben nombres diferentes, tales como troquelado, punzonado, ranurado, etc. pero básicamente todas son cizallado.

En el mercado se pueden encontrar diferentes tipos de cizallas las cuales han evolucionado a través del tiempo dependiendo de las necesidades específicas de la industria. Se destacan las cizallas manuales en las cuales el operario es el encargado de realizar el movimiento de ascenso y descenso y de ejercer la presión sobre la cuchilla para realizar el corte.

Las cizallas automáticas generalmente son accionadas por actuadores neumáticos o eléctricos. Este tipo de cizallas son capaces de cortar metales de cualquier tipo y grosor sin apenas esfuerzo. Las cizallas tipo guillotina son las más utilizadas en la industria para el corte de metales. Estas permiten cortar metales de un espesor de hasta 25 mm. En este tipo de cizallas la cuchilla inferior va sujeta a la mesa de corte mientras que la superior va sujeta a una corredera de acción neumática o hidráulica.

Actualmente, en el Batallón de Mantenimiento de Comunicaciones —BAMCE— se cortan láminas de níquel de forma manual utilizando tijeras. Aunque en la industria existen un sin fin de herramientas que facilitan esta labor, ninguna de las herramientas comercializadas hasta el momento poseen las características que requiere el BAMCE para su línea de producción de baterías.

Por lo tanto, el presente trabajo se enfoca en el diseño mecánico de un prototipo de máquina cortadora tipo cizalla a medida que satisfaga las necesidades del BAMCE.

## **1. CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.**

El BAMCE, ubicado en Facatativá (Colombia), tiene como principal objetivo realizar la identificación y diagnóstico de averías, reparación y cambio de componentes funcionales menores. De igual manera, lleva a cabo las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo al material de comunicaciones del Ejército Nacional. Además, se encarga del ensamble de radios, baterías y equipos de informática de la misma institución. Este batallón cuenta con centros de mantenimiento especializados de las marcas Motorola, Harris y Tadiran.

La línea de ensamble del BAMCE produce diariamente baterías de las gamas BD 1207 para los radios Tadiran y baterías BD 2014 para los radios Harris. Todas ellas están certificadas por la Norma ISO 9001. Actualmente, la mayoría de las etapas de la línea de ensamble son manuales, especialmente el proceso de corte de láminas de aleación de níquel, las cuales son usadas para interconectar las celdas internas de la batería.

### **1.1. Descripción del proceso.**

Actualmente el proceso de producción de baterías cuenta con las siguientes áreas de producción, las cuales no necesariamente se ejecutan de manera secuencial:

- a. Área de corte de cable estaño siliconado.
- b. Área de ponchado.
- c. Área de cortado de níquel.
- d. Área de soldadura en caliente.
- e. Área de armado del circuito.
- f. Área de soldadura en frío.
- g. Área de llenado de dieléctrico.
- h. Área de tapado de la batería.
- i. Área de sellado de la batería.
- j. Área de empaque.

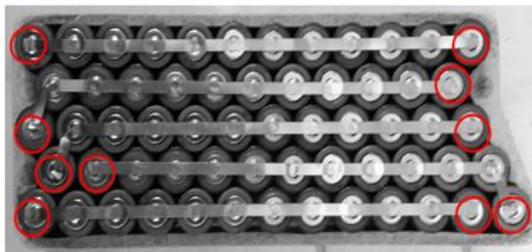
El proceso de producción del BAMCE inicia con una orden de producción que se remite al almacenista, quien se encarga de entregar los materiales e insumos

necesarios para iniciar la producción en cada una de las etapas del proceso. En el área de corte de cable, el operario encargado corta el cable de cobre-estaño siliconado y pela los extremos para que en el área de ponchado, los extremos del cable sean unidos por presión a los conectores de las carcadas de las baterías.

De forma paralela, en el área de cortado de níquel se toman las láminas de níquel y se cortan en dos longitudes: las secciones largas son enviadas al área de soldadura en frío y las secciones cortas son enviadas al área de soldadura en caliente. En el área de soldadura en caliente, un operario suelda las secciones ya ponchadas del cable de cobre-estaño siliconado a las láminas de níquel, utilizando cautín, pasta de soldar y estaño.

Al mismo tiempo, en el área de armado del circuito se verifica primero la calidad de las pilas doble AA llamadas celdas, donde continúa el armado del circuito serie paralelo, dentro de un molde preestablecido con un número estándar de celdas.

En el área de soldadura en frío, se verifica el circuito armado y se procede a soldar las láminas largas de níquel con las celdas en todos los puntos, como se muestra en la Figura 1, donde finalmente el conector es soldado a los terminales de la batería. Cuando el circuito está armado, la batería es colocada en una cinta transportadora para pasar al primer punto de control.



*Figura 1: Circuito armado con láminas de níquel soldadas.*

*Fuente: BAMCE.*

En este primer punto de inspección se verifica el voltaje de la batería, el armado del circuito y se corta el exceso de níquel de cada terminal. Luego, se verifican los puntos de soldadura y se revisa la posición correcta en el circuito de los terminales positivo y negativo. Las elevaciones de las láminas de níquel se corrigen con un martillo de goma.

En el área hot-melt se aplica pegamento termofusible en la parte superior e inferior del circuito, con el fin de evitar un corto entre los bornes expuestos y además compactar las celdas formando un bloque sólido. Una vez se termina el tiempo de secado, se ponchan los terminales del circuito a los conectores de la batería. El producto se cubre y se envía al área de ultrasonido donde la caja que protege el circuito es completamente sellada por medio de una máquina de ultrasonido.

En el último control de calidad se inspecciona visualmente que la caja de la batería esté completamente sellada, que los conectores no estén defectuosos y que el voltaje se encuentre en el rango deseado. Finalmente, las baterías son impermeabilizadas por medio de una bolsa termo-encogible la cual se sella y se adhiere a la batería, para luego embalar en cajas de cartón y entregar al almacén de producción. El diagrama de flujo del proceso de ensamble de baterías se muestra a continuación en la Figura 2.

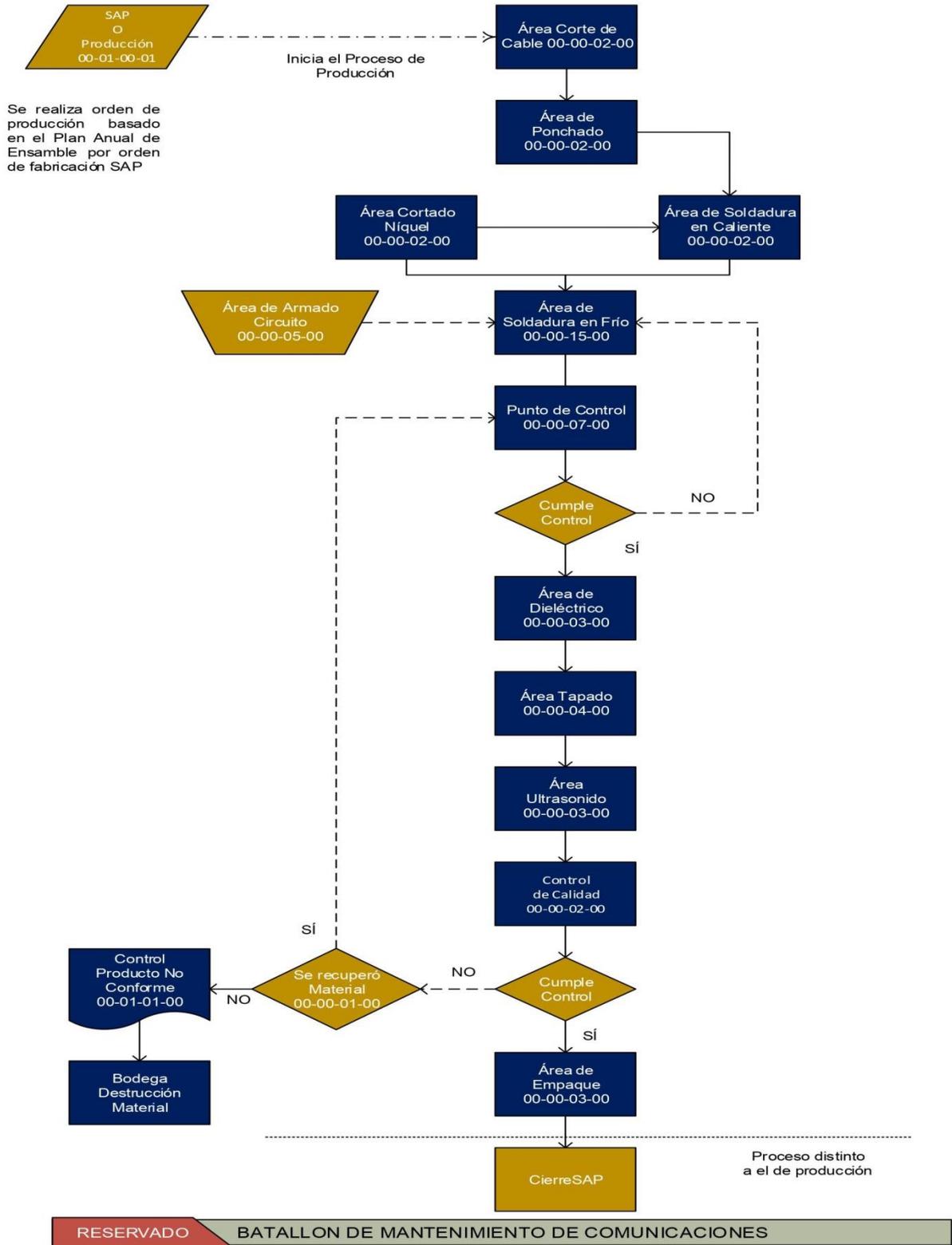


Figura 2: Diagrama de flujo del proceso de ensamble de baterías.

Fuente: BAMCE.

Con el fin de proteger la confidencialidad de la línea de ensamble de baterías del BAMCE, no es posible describir en detalle cada una de las etapas del proceso y tampoco es necesario su conocimiento a profundidad para la realización de la práctica profesional de la que se da cuenta en el presente informe.

Algunos conceptos claves para abordar el problema planteado se tratan a continuación.

- Proceso de diseño industrial.
- Proceso de diseño CAD.

## **1.2. Proceso de diseño industrial.**

El proceso del diseño industrial está definido por la Industrial Designers Society of América (IDSA) como “el servicio profesional de crear y desarrollar conceptos y especificaciones que optimizan la función, valor y aspecto de productos y sistemas para el mutuo beneficio del usuario y el fabricante”[2], y está formado por las siguientes fases: investigación de las necesidades del cliente, conceptualización, refinamiento preliminar, refinamiento adicional y selección final del concepto, dibujos o modelos de control y coordinación con ingeniería, manufactura y vendedores externos. Para el desarrollo del presente proyecto de práctica profesional, se llevarán a cabo estas seis fases del proceso de diseño industrial [2].

**a. Investigación de las necesidades del cliente:** en esta etapa se procederá a determinar las necesidades de la planta de ensamble de baterías, a través de entrevistas con las directivas del BAMCE, jefe de planta y operarios de la línea de ensamble de baterías, especialmente con los encargados del proceso de corte. Los objetivos de esta fase son:

- Asegurar que el producto a diseñar esté acorde con las necesidades del cliente.
- Identificar necesidades latentes u ocultas y necesidades explícitas.
- Proporcionar datos que justifiquen las especificaciones del producto.
- Asegurar que no falte ninguna necesidad crítica del cliente.

- Desarrollar un entendimiento mutuo entre las necesidades del cliente y el desarrollador [2].
- b. Conceptualización:** una vez determinadas las necesidades del cliente, es necesario reunirse con el usuario final y las demás personas involucradas en el proceso para identificar las subfunciones técnicas de la máquina y dar inicio a la construcción de los primeros bocetos de diseño. Estos diseños básicos, permiten evaluar de forma rápida las diferentes posibilidades de solución [2].
  - c. Refinamiento preliminar:** los bosquejos más prometedores son seleccionados y refinados para crear modelos que permitan visualizar conceptos del producto y que puedan ser evaluados por las directivas de la planta, el operario y el diseñador. Al finalizar la evaluación se define un único modelo, el más prometedor [2].
  - d. Refinamiento adicional y selección final del concepto:** después de hacer las mejoras al modelo seleccionado, se procede a realizar el modelado en una herramienta CAD, con el fin de refinar aún más las especificaciones finales del concepto, así como validar sus especificaciones de funcionamiento [2].
  - e. Dibujos o modelos de control:** este último punto del proceso de desarrollo se completa al hacer dibujos o modelos de control, los cuales documentan la funcionalidad, características, tamaños, acabados superficiales y dimensiones claves del producto. Generalmente estos dibujos de control no son modelos detallados de piezas (dibujos de ingeniería) y típicamente pasan al equipo de ingeniería para el diseño detallado de las partes.
  - f.** En esta fase de la metodología propuesta se desarrollarán los dibujos de ingeniería de cada una de las piezas del producto final.
  - g. Coordinación vendedores externos:** Al finalizar el proceso de diseño industrial se procederá a contactar con vendedores y proveedores externos con el objetivo de proyectar un costo aproximado para la construcción del producto final.

### **1.3. Diseño CAD.**

Las tecnologías de diseño asistido por computador (CAD) han mejorado notablemente en las últimas décadas y como tal, se están utilizando en gran medida en el proceso de diseño de productos [3]. Estas tecnologías utilizan computadores para el diseño y fabricación de productos con mayor precisión y a menor costo [4]. Se entiende por sistema CAD, un sistema informático que automatiza el proceso de diseño de alguna entidad. Tradicionalmente el proceso de diseño CAD sigue los siguientes pasos:

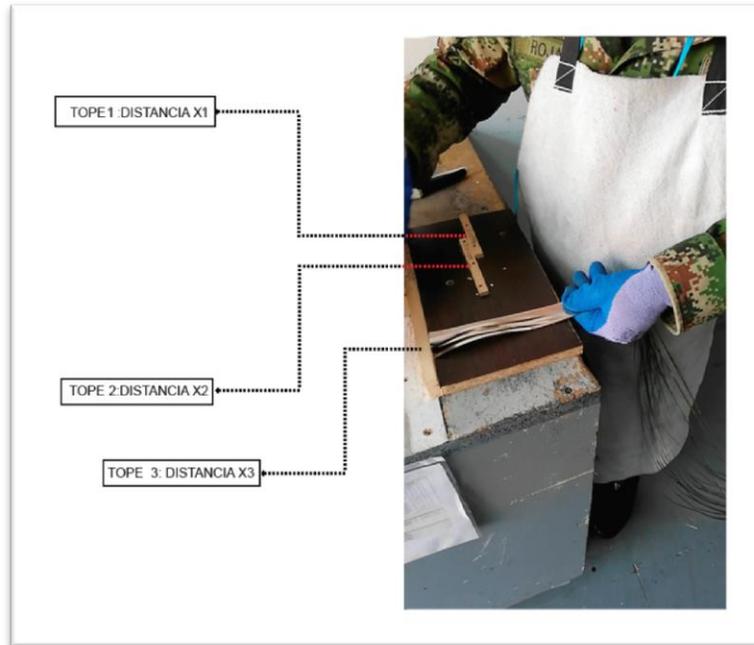
- Definición: consiste en especificar las propiedades más relevantes del sistema a diseñar.
- Concepción de un modelo: se concibe un modelo de sistema que satisface las especificaciones.
- Dibujo de detalle: consiste en crear la cantidad de planos necesarios del sistema a tal punto que se pueda construir un prototipo con base en estos.
- Prototipado: los prototipos se fabrican con el propósito de detectar posibles errores en el modelo. Pero si no los tiene, sirven para validarlos. Los prototipos no tienen que ser necesariamente un ejemplar completo del producto a fabricar. Se pueden utilizar para validar tan solo propiedades determinadas.
- Realización de ensayos: tras la realización de ensayos sobre el prototipo, se pueden descubrir deficiencias en el modelo o en la propia definición del sistema, lo que obliga a volver atrás en el proceso. Es necesario revisar el diseño.
- Documentación: una vez validado el diseño se pasa a documentarlo. La documentación debe contener la información suficiente como para poder abordar la construcción del sistema [5].

## **2. CAPÍTULO II: DEFINICIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS PARA LA MÁQUINA DE CORTE DE LÁMINAS DE NÍQUEL.**

Los primeros pasos en el desarrollo de un nuevo producto son determinar los requisitos, expectativas, requerimientos y gustos del cliente así como la finalidad del producto. Se considera al cliente no solo al usuario final, sino a todas las personas involucradas en las decisiones que se tomen a lo largo del proceso de diseño como personal de mantenimientos, aseo, seguridad, etc. [6]. La necesidad del cliente es el requerimiento final que el producto debe satisfacer y del cual se desprenden otros requerimientos y las características deseadas del producto, tales como el tamaño, forma, peso, color, materiales utilizados, el costo, la facilidad de uso y seguridad.

### **2.1. Reconocimiento del proceso e identificación de las actividades desarrolladas en el área de corte de láminas de níquel.**

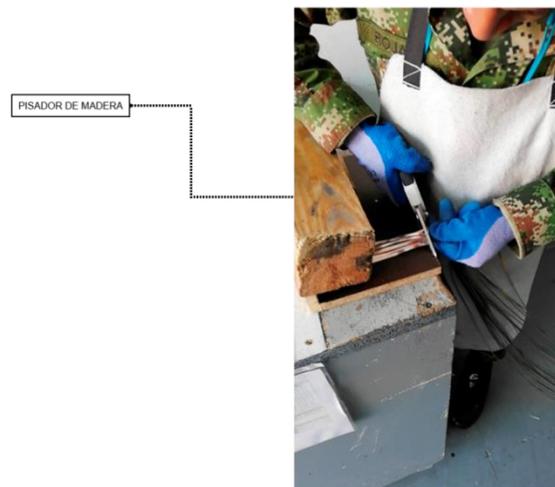
El proceso de corte de láminas de níquel empieza con la llegada del níquel en forma de cintas enrolladas en carretes. El operario toma 30 de esas cintas a la vez, las agrupa y las dispone sobre una mesa de trabajo. Sobre la mesa se han instalado topes de madera separados respecto a un tope fijo, definiendo así las longitudes requeridas para el corte de las láminas, como se muestra en la Figura 3.



*Figura 3: Puesto de trabajo del operario de corte.*

*Fuente: BAMCE.*

Para realizar el corte, el operario usa un pisador en forma de bloque de madera que evita el movimiento de las cintas. Una vez las cintas están dispuestas sobre el tope, se sujetan con el pisador y el operario procede a cortar con una cizalla manual, tal como se indica en la Figura 4.



*Figura 4: Proceso de corte de láminas de níquel.*

*Fuente: BAMCE.*

## **2.2. Identificación de necesidades.**

El proceso de corte manual de láminas de níquel, como se describió anteriormente, constituye en la actualidad un cuello de botella dentro del proceso de ensamble de baterías del BAMCE. Por lo tanto, es de suma importancia implementar mejoras que permitan solventar adecuadamente las implicaciones negativas que este tiene sobre el proceso productivo., por lo que una vez completado el reconocimiento general del proceso es evidente que se presenta desperdicio de material, baja eficiencia del proceso de corte, así como precarias condiciones laborales del operario

Ahora bien, para determinar con mayor exactitud las necesidades del proceso, se realizó una entrevista al operario de corte. Él indica que debido al corte manual de las láminas, muchas de ellas no tienen la longitud requerida para incorporarse adecuadamente a los circuitos internos de la batería, por riesgo de rasgar las celdas o causar un corto circuito.

Otro aspecto a tener en cuenta es la prevención de riesgos laborales. Aunque el Ejército Nacional ofrece al operario todos los elementos de protección personal (guantes, tapabocas, tapa oídos, delantal) no son suficientes ante el alto nivel de toxicidad de la aleación de níquel porque las láminas desprenden macropartículas que quedan dispersas en el área de trabajo, aumentando considerablemente la posibilidad de contraer enfermedades. Además el filo propio de la herramienta de corte y de las láminas ya cortadas aumentan considerablemente las posibilidades de sufrir alguna laceración.

De la entrevista realizada al operario podemos determinar que el mecanismo a diseñar debe proporcionar precisión al momento de realizar el corte, reducir al máximo el contacto del operario con las láminas de níquel y disminuir el riesgo de accidentes laborales.

Por otro lado, también se entrevistó al jefe de planta quien hizo las siguientes recomendaciones puntuales: El mecanismo debe contar con una capacidad de corte de mínimo 20.000 láminas en una periodo de ocho horas, su diseño debe ser compacto, su funcionamiento debe ser lo más automatizado posible y también

solicita que la longitud de las láminas a cortar pueda ser regulada de acuerdo a los requerimientos de las baterías.

### **2.3. Diseño del mecanismo.**

Para lograr llevar a buen término el proyecto se optó por seguir el proceso de diseño industrial descrito en [2]. Una vez definidos los requerimientos que hace el BAMCE para el diseño del mecanismo aplicamos los siguientes pasos:

- Elaboración de diseños básicos o bosquejos.
- Dibujo de detalle.
- Elaboración de piezas en la herramienta CAD.
- Evaluación del desempeño funcional.

### **2.4. Elaboración de diseños básicos o bosquejos.**

Para el diseño del mecanismo, como primer paso se debe seleccionar la técnica de corte. De acuerdo a la literatura en la actualidad están disponibles técnicas de corte por láser, plasma, chorro de agua a presión, etc. Sin embargo, se descartan, principalmente, por sus costos y requerimientos de personal altamente capacitado para su operación y mantenimiento. Por lo tanto, las opciones más prometedoras son el corte por sierra y el corte por cizallado.

El corte por sierra es una técnica de corte por arranque de viruta, la cual desprende pequeños trozos de material hasta que la superficie a cortar se separa. En este proceso el material y la hoja de la sierra se calientan debido a la fricción, llegando a desprender chispas durante el corte.

En sierras tipo circular se alcanzan altas revoluciones por lo que el riesgo de accidentes es muy elevado, pudiendo causar heridas graves al operario. Si las hojas de las sierras están demasiado tensas pueden partirse con gran facilidad. Además, si el espesor del material es muy grande se requiere de un refrigerante [7]. Aunque con el uso de sierras se puede cortar materiales de diferente dureza y grosor sin mayor esfuerzo, los riesgos inherentes a su uso hacen que no sea una alternativa factible para utilizar dentro de las instalaciones del BAMCE.

Por otro lado, el corte por cizalla se caracteriza por emplear dos cuchillas que se deslizan entre sí, llamadas cuchilla superior y cuchilla inferior basando su

principio de funcionamiento en el aplastamiento del material, seguido de un corte parcial por penetración en la superficie de la pieza. Con un subsiguiente aumento de la presión se vence la resistencia del material a la tracción, finalizando con la fractura del resto de la sección de corte. La superficie de separación de una pieza presenta, debido al proceso de cizallado, una forma irregular. El corte se hace en frío y sin arranque de viruta [7]

Desde el punto de vista de la seguridad, instalando una pequeña protección se reduce al mínimo los riesgos de sufrir accidentes. Teniendo en cuenta las características previamente mencionadas se concluye que esta técnica de corte es la más apropiada para el mecanismo a diseñar.

#### 2.4.1. Componentes de una cizalla.

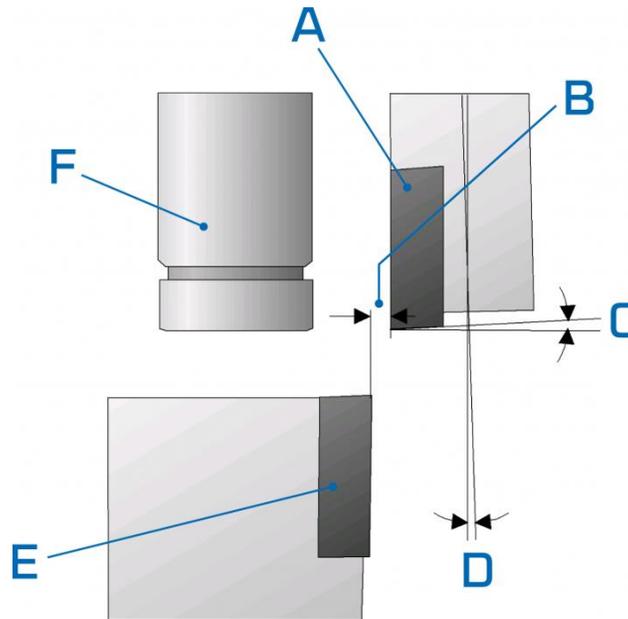


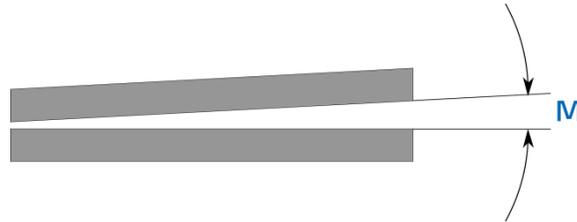
Figura 5: Componentes de una cizalla.

Fuente: Gasparini Industries S.R.L.

En la Figura 5 se pueden distinguir los componentes básicos de una cizalla los cuales son: cuchilla superior e inferior (A, E), distancia entre las cuchillas (B), (C) es el ángulo de afilado de las cuchillas, ángulo de extracción (D), pisador (F).

Cada uno de estos componentes juega un papel importante dentro de la cizalla como se indica a continuación.

La cuchilla superior e inferior (A, E) son las encargadas de realizar el corte. Generalmente se disponen como se muestra en la Figura 6.



*Figura 6: Ángulo de corte.*

*Fuente: Gasparini Industries S.R.L.*

En algunos tipos de cizallas, la cuchilla superior está ligeramente inclinada formando el ángulo M. Con esta inclinación se logra una disminución sustancial de la fuerza de corte y proporciona un corte más limpio del material.

La distancia entre las cuchillas o juego del cizallado (B) es esencial ya que si esta es la adecuada se produce un corte limpio del material. En cambio, si la distancia es insuficiente se disminuye la vida útil de las cuchillas al igual que se aumenta la fuerza necesaria para hacer el corte. Cuando la distancia es excesiva también se corre el riesgo de que el material se doble sin llegar a cortarse.

El ángulo de afilado de las cuchillas (C) se usa generalmente para disminuir la fuerza de corte del material. Para corte de materiales mecánicos se utilizan ángulos de corte cercanos a 90°.

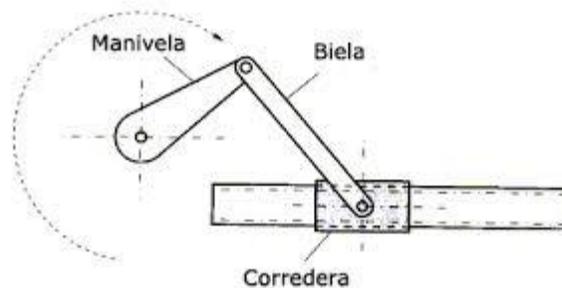
El ángulo de extracción de las cuchillas (D) se utiliza para tirar hacia atrás la cuchilla superior para permitir, al momento del retroceso de la cuchilla, que el material se desprenda de esta con facilidad.

Por último tenemos el pisador (F), encargado de fijar la pieza para que, al momento de hacer el corte, ésta permanezca fija y la longitud de corte sea la adecuada.

Ahora se procede a buscar un actuador que proporcione la fuerza útil que la cizalla necesita para realizar el corte, las opciones a considerar son las siguientes: un mecanismo biela-manivela, un sistema neumático y un sistema hidráulico.

## 2.5. Mecanismo biela manivela corredera.

Es un mecanismo que hace parte de la lista tradicional de las máquinas simples, el cual permite convertir el movimiento giratorio continuo de un eje en uno lineal alternativo en el pie de la biela. Este mecanismo también permite el proceso contrario: transformar un movimiento lineal alternativo del pie de la biela en uno giratorio continuo en el eje al que está conectada la biela [8].



*Figura 7: Mecanismo biela manivela corredera.*

*Fuente: Elementos de máquinas 4: mecanismo biela-manivela.*

Para poder utilizar el mecanismo mostrado en la Figura 7 dentro de la máquina cortadora, la manivela debe conectarse a un motor eléctrico para que proporcione el movimiento giratorio. Además, en la corredera del mecanismo se debe acoplar una de las cuchillas de corte de la cizalla.

## 2.6. Cilindro neumático.

La siguiente opción es utilizar un cilindro neumático de doble efecto como el mostrado en el Figura 8. Se trata de un dispositivo mecánico que produce una fuerza y un movimiento lineal en el vástago, generalmente accionado por un gas comprimido. Los cilindros de doble efecto tienen dos entradas de aire usadas para extenderse y contraerse, generando fuerza útil en ambos sentidos del movimiento. Las partes que componen un cilindro neumático se nombran a continuación:

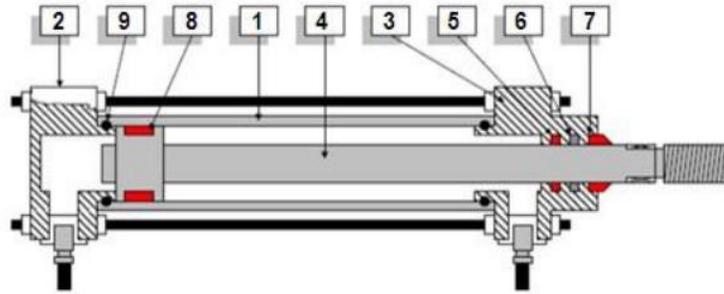


Figura 8: Cilindro neumático de doble efecto.

Fuente: Festo-Colombia.

- |                   |                           |                        |
|-------------------|---------------------------|------------------------|
| 1. Camisa         | 4. Embolo                 | 7. Aro rascador        |
| 2. Tapa posterior | 5. Collarín obturador     | 8. Junta dinámica      |
| 3. Tapa anterior  | 6. Casquillo del cojinete | 9. Anillos toroidales. |

La opción de implementar un cilindro hidráulico es descartada rápidamente dado que estos son utilizados cuando se requiere de mucha fuerza útil. Además, su implementación y mantenimiento implican costos muy elevados.

Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de cada una de las opciones consideradas para el actuador del mecanismo y dado que el BAMCE dispone de un sistema de aire comprimido, la mejor opción por facilidad y bajos costos es utilizar un cilindro neumático de doble efecto.

### 2.7. Mesa de trabajo.

El siguiente componente a diseñar es la mesa de trabajo. Teniendo en cuenta las medidas de la lámina de níquel, se plantea, inicialmente, que el mecanismo sea capaz de cortar 50 láminas a la vez. Estas deben viajar desde el carrete hasta las cuchillas, por medio de carreras individuales. La mesa de trabajo debe contar con un espacio donde un pisador pueda sujetar las láminas al momento de hacer el corte.

Una mesa de trabajo totalmente lisa sería ineficiente porque las láminas podrían moverse hacia los lados provocando enredos entre ellas, lo cual influiría negativamente en el corte. En la Figura 9 se puede apreciar un primer bosquejo de la mesa de trabajo con sus carreras y el espacio para el pisador.



*Figura 9: Bosquejo preliminar de la mesa de trabajo.*

*Fuente: propia.*

Para que las láminas viajen desde el inicio de la mesa hasta la cuchilla se requiere de algún tipo de actuador que permita realizar dicho desplazamiento. Para ello se conciben inicialmente las siguientes opciones: utilizar un sistema de rodillos o un sistema de electroimanes.

### **2.8. Sistema de rodillos.**

La idea tras este sistema consiste en hacer pasar las láminas a través de dos rodillos superpuestos recubiertos de goma para asegurar una excelente tracción de las láminas. Los rodillos contarán con un motor eléctrico que se activará por un determinado tiempo. Ese lapso dependerá de la longitud a la cual se desea cortar la lámina. Una vez las láminas se desplazan la distancia deseada, se detienen mientras se realiza el corte. Después de finalizado el corte, el motor se activa nuevamente y el ciclo se repite.

### **2.9. Sistema de electroimanes.**

La idea tras este sistema consiste en aprovechar el ferromagnetismo del níquel. Para implementar este sistema se debe contar con un electroimán y un actuador que permita un movimiento lineal del electroimán. Estos componentes deben instalarse al inicio de la mesa de trabajo para que se desplacen a través de ella.

Al hacer el corte, inicialmente, se activará el campo magnético del electroimán, luego el actuador, que para este caso debe ser un motor paso a paso, se desplazará la cantidad de pasos necesarios para cubrir la longitud a la que se desea hacer el corte. Una vez alcanzada la longitud el actuador se detiene, se

realiza el corte y el electroimán regresa a la posición inicial para comenzar un nuevo ciclo.

Para que el corte se realice adecuadamente se debe utilizar un pisador para anular el movimiento de la lámina, evitando que esta se mueva y el corte sea inadecuado. Para solucionar este problema se plantea un sistema compuesto de dos tubos huecos en cuyo interior se encuentra un resorte de compresión y una barra horizontal, la cual baja y presiona las láminas contra la mesa de trabajo.

Para la recolección de las láminas se plantea utilizar una tolva a la cual se pueda acoplar con facilidad un recipiente.

Además, de las piezas mencionadas previamente, el mecanismo requiere los siguientes elementos:

- Sistema de guías lineales
- Cremallera
- Piñón
- Motor paso a paso
- Tornillería
- Estructura de soporte

Con los requerimientos del cliente plenamente definidos, al igual que las piezas principales que conforman el mecanismo, se da por concluido el primer paso del proceso de diseño industrial. En el siguiente capítulo se trabaja en la elaboración detallada de los planos de los componentes del sistema.

### 3. CAPITULO III: DISEÑO CAD

Los dibujos de detalle son planos o esquemas que muestran la disposición o el funcionamiento de los distintos componente que conforman un sistema, aportando datos que posibilitan su diseño, fabricación y ensamble. Así mismo, el diseño CAD se define como el uso de las computadoras para ayudar a optimizar los diseños a lo largo de todo el proceso de ingeniería. En este orden de ideas, para el mecanismo de corte se tiene una concepción inicial de sus componentes principales, los cuales requieren de piezas adicionales para su correcto funcionamiento. Todas las piezas se diseñan usando SolidWorks® como software CAD.

El mecanismo debe diseñarse de tal forma que su estructura sea capaz de soportar las fuerzas generadas por las cuchillas. En primer lugar, se calcula la fuerza de corte, luego se selecciona el actuador adecuado y, posteriormente, se diseña la estructura.

#### 3.1. Cálculo de fuerzas para el corte de láminas de níquel.

De acuerdo a [9] la fuerza a aplicarse para el corte en una cizalla con cuchillas inclinadas viene dada por:

$$F = K * h * s' * \tau \quad (1)$$

$$s' = \frac{h}{\tan\delta} \quad (2)$$

Cuyos parámetros se detallan a continuación.

- **K:** coeficiente de penetración del material = 0,03 a 0,25
- **h:** espesor de la lámina a cortar.
- **δ:** ángulo entre las cuchillas.
- **τ:** resistencia a la tracción del material.

Para el caso de las láminas de níquel se tienen los siguientes datos.

- **K: 0.25**, según Cárdenas [9].
- **h: 0.2 mm**, de acuerdo a los datos entregados por el BAMCE.
- **τ: 460MPa**.
- **δ: 3°**, de acuerdo al manual del constructor de máquinas [10].

De acuerdo a los datos anteriores, la fuerza necesaria para realizar el corte es:

$$F = 10.53N \quad (3)$$

### 3.2. Juego en el cizallado.

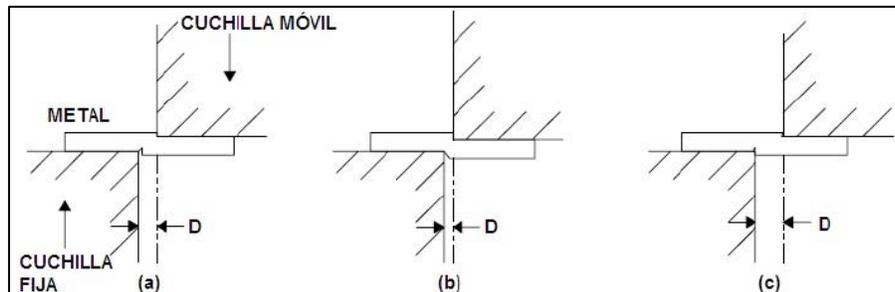


Figura 10: Juego en el cizallado.

Fuente: introducción al conformado mecánico.

De acuerdo a [10] el juego en el cizallado se define como:

$$D = \frac{h}{25} \quad (4)$$

De acuerdo al BAMCE se tiene que:

$$h = 0.2mm$$

Por lo tanto la fuerza necesaria para hacer el corte es:

$$D = 0.000008$$

Como el juego en el cizallado es demasiado pequeño se toma este como cero.

El material seleccionado para fabricar las cuchillas de la cizalla es “acero D2” el cual, por sus excelentes propiedades físicas lo hacen ideal para trabajos de corte en frío.

Dentro de sus características principales tenemos que es un acero aleado en carbono y cromo. Dispone de alta resistencia al desgaste y al impacto. Retiene el filo, condición perfecta para cuchillas de buen tamaño y que corten bien en cualquier condición. El “acero D2” requiere pocos cuidados por su aleación de cromo que lo hace semi-inoxidable. Se recomienda el afilado a máquina.

### 3.3. Selección del cilindro.

Para seleccionar el cilindro adecuado, se procede a sumar el total de las fuerzas presentes en el mecanismo, sobredimensionando al doble la fuerza sobre la cuchilla para que el actuador funcione a la mitad de su máxima capacidad y asumiendo un 20% de pérdidas por rozamiento:

$$F_{total} = \left( 21,06N + 2 * \left( 5KG * 9.8 \frac{m^2}{s} \right) \right) * 20\% \quad (5)$$

La fuerza total requerida para el actuador del mecanismo es de:

$$F_{total} = 142N$$

Con base en la fuerza útil y por recomendaciones del BAMCE, se consulta el catálogo de la empresa Festo - Colombia con la que mantienen estrechas relaciones comerciales. Dentro de su oferta de cilindros neumáticos posee una gran variedad de opciones. Se selecciona un cilindro neumático de doble efecto, de diámetro de la cámara de aire de  $\varnothing$  32mm, (conforme a la Norma ISO 15552). Este proporciona una fuerza útil tanto en avance, como en retroceso mínima de 161N y máxima de 804N, la cual es proporcional a la presión de aire a la entrada del mismo, siendo la fuerza producida por el cilindro suficiente para la aplicación requerida.

### 3.4. Ventosas electromagnéticas.

Para alimentar las láminas de níquel a las cuchillas de la cizalla, se aprovecha su ferromagnetismo. El sistema propuesto consta de dos ventosas electromagnéticas que se instalan al inicio de la mesa de trabajo (posición: P=0). En este punto, se activa el campo magnético de las ventosas para que se desplacen por medio de motores paso a paso la distancia a la que se desee hacer el corte (P=1). En esta posición se desactiva el campo magnético y se activa el cilindro neumático. Una vez las láminas están sujetas por el pisador, las ventosas electromagnéticas retroceden hasta P=0, evitando que por causa del magnetismo remanente las láminas retrocedan junto con las ventosas.

Para seleccionar una ventosa acorde a los requerimientos del mecanismo se consulta el catálogo de la empresa Electroimanes de Accionamiento NAFSA S.L.

Dentro de sus múltiples opciones, cuenta con la serie ERM de ventosas electromagnéticas tipo rectangular. Se seleccionan dos ventosas ERM100/35 que, por su longitud, calzan perfectamente dentro de la mesa de trabajo. Dado que las láminas de níquel no poseen entrehierro, las ventosas sujetan la lámina con fuerza suficiente para mantener y transportar la lámina la longitud deseada.

### **3.5. Motor paso a paso.**

Un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos electrónicos en desplazamientos angulares discretos. Esto significa que por cada señal de control enviada, este gira un ángulo determinado. Dicha característica lo hace ideal para montar sobre estos las ventosas electromagnéticas. Además, mediante programación se configura la longitud de corte deseada. Dentro de las opciones disponibles en el mercado, se opta por el motor mena 23, el cual posee un torque de 14kg/cm y 200 pasos por vuelta.

### **3.6. Guías lineales.**

Las guías lineales aseguran que el movimiento de los componentes acoplados a estas sea perfectamente lineal. A estas guías se deben acoplar la cuchilla superior y los motores paso a paso.

Para la cuchilla se selecciona la Guía lineal *Hiwin* con carro serie MG x 142mm.

Para los motores paso a paso se selecciona la Guía lineal *Hiwin* con carro serie MG x 280mm.

### **3.7. Planos de componentes y diseño CAD.**

A continuación se crean los dibujos de detalle de los componentes del mecanismo y conjuntamente se elaboran en el software CAD.

### **3.8. Mesa de trabajo.**

El diseño de las piezas tiene su punto de inicio en la mesa de trabajo la cual se considera como una de las piezas más importantes dentro del mecanismo. La mesa de trabajo dispone de 50 carreras cada una, con espacio para que las láminas de níquel se muevan a través de ella. Tiene una separación determinada

para que las láminas no se entrecrucen en el recorrido. Además posee a cada lado espacios para la sujeción de componentes adicionales. También cuenta con un espacio donde actúa el pisador. Seguido a este tiene una carrera final para garantizar el correcto corte de las láminas.

La mesa de trabajo se debe fabricar en aluminio no ferromagnético para que el campo de las ventosas actúe sobre las láminas y no sobre el material de la mesa. El plano y el diseño CAD de la mesa de trabajo se muestra en la Figura 11.

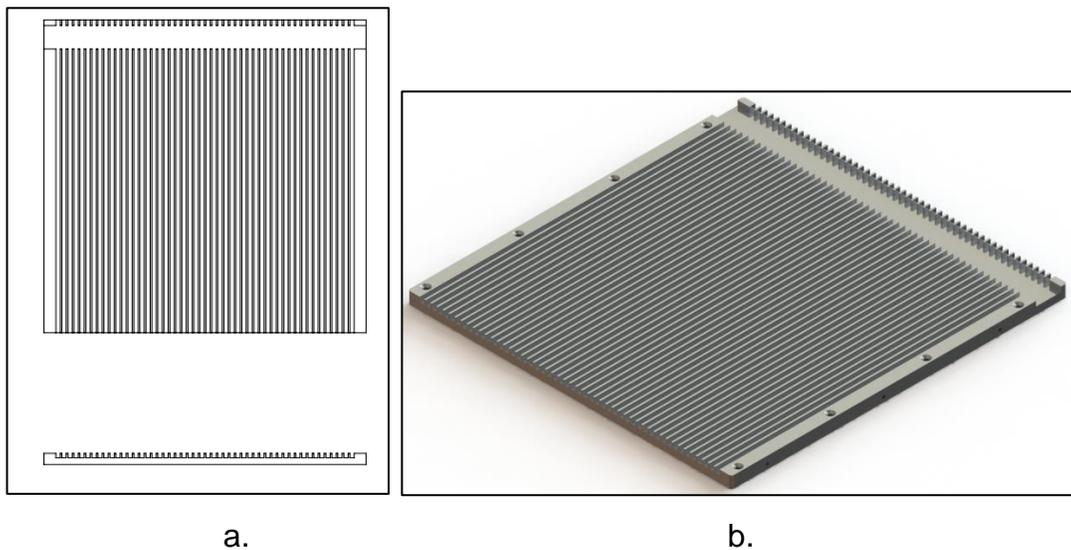


Figura 11: Mesa de trabajo, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b).

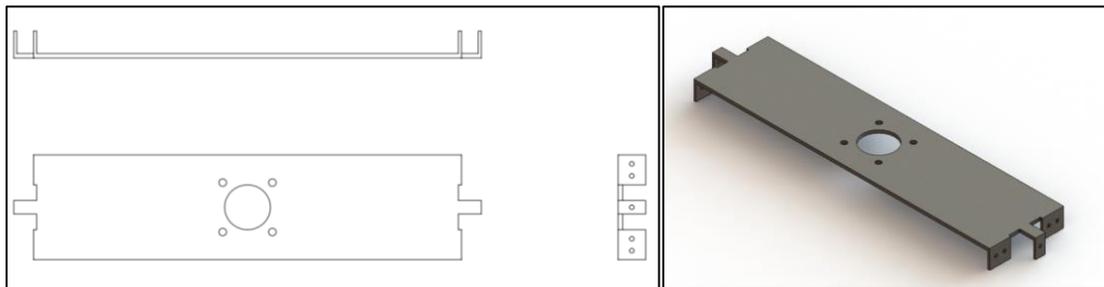
Fuente: propia.

### 3.8.1. Estructura de soporte del cilindro neumático.

El cilindro neumático se ubica en la parte superior del mecanismo. Por eso es necesario acondicionar una estructura para éste. En dicha pieza actúa la fuerza proveniente de las cuchillas. También se caracteriza por tener un espacio donde se acopla el cilindro neumático de forma vertical.

Además, posee tres puntos de apoyo verticales a cada lado, cada uno con características distintivas llamados: soporte lateral izquierdo, soporte lateral derecho, soporte lateral corto (uno a cada lado), y soporte vertical para guías lineales (uno a cada lado), las cuales sirven de punto de apoyo al cilindro neumático y proporciona estabilidad a las guías lineales, sobre las cuales se deslizan las cuchillas. Resaltan también los agujeros para la tornillería de sujeción

del cilindro a la pieza y de todos los componentes del sistema. Estos componentes deben fabricarse en acero medio al carbono.

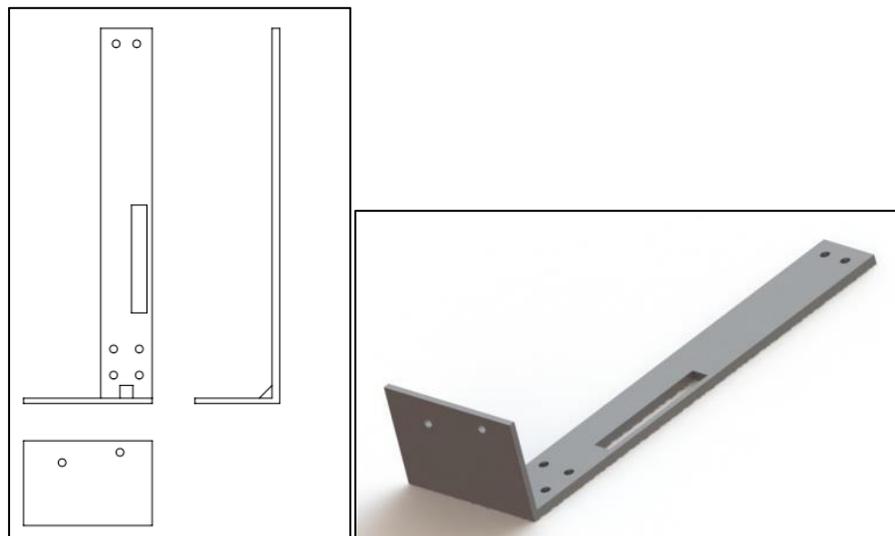


a.

b.

Figura 12: Soporte horizontal del cilindro, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b).

Fuente: propia.

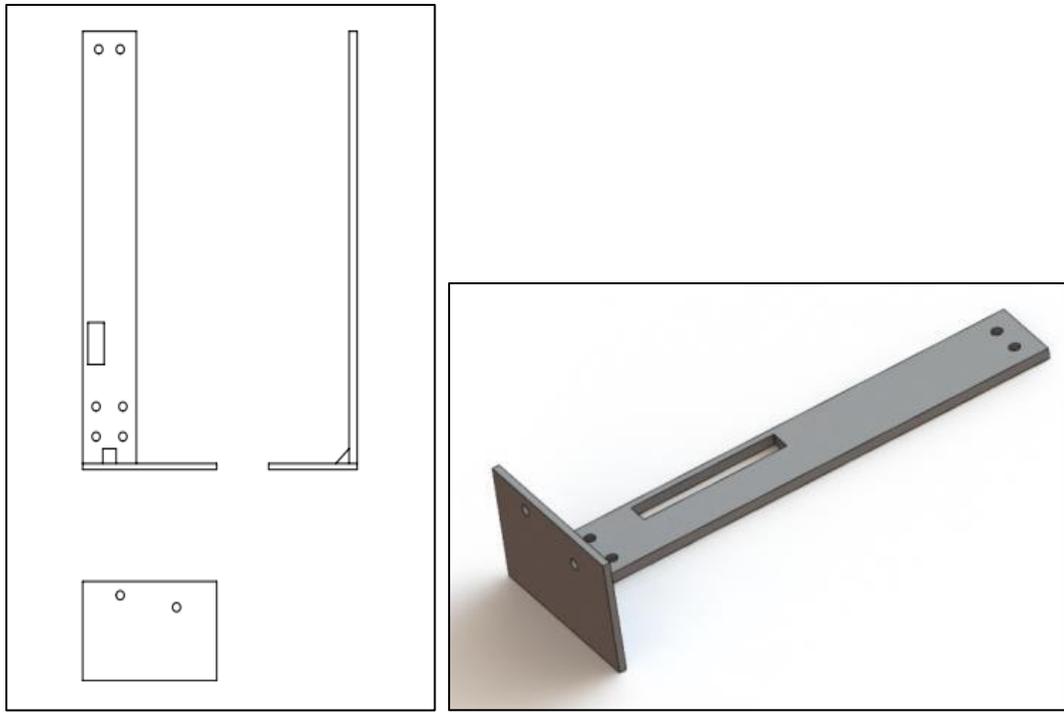


a.

b.

Figura 13: Soporte lateral izquierdo, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b).

Fuente: propia.

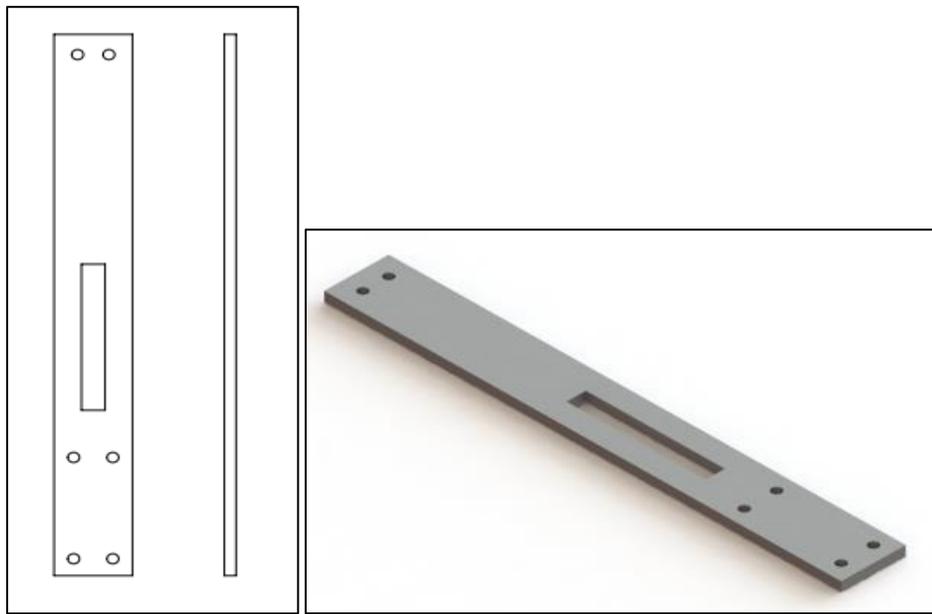


a.

b.

Figura 14: Soporte lateral derecho, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b).

Fuente: propia.



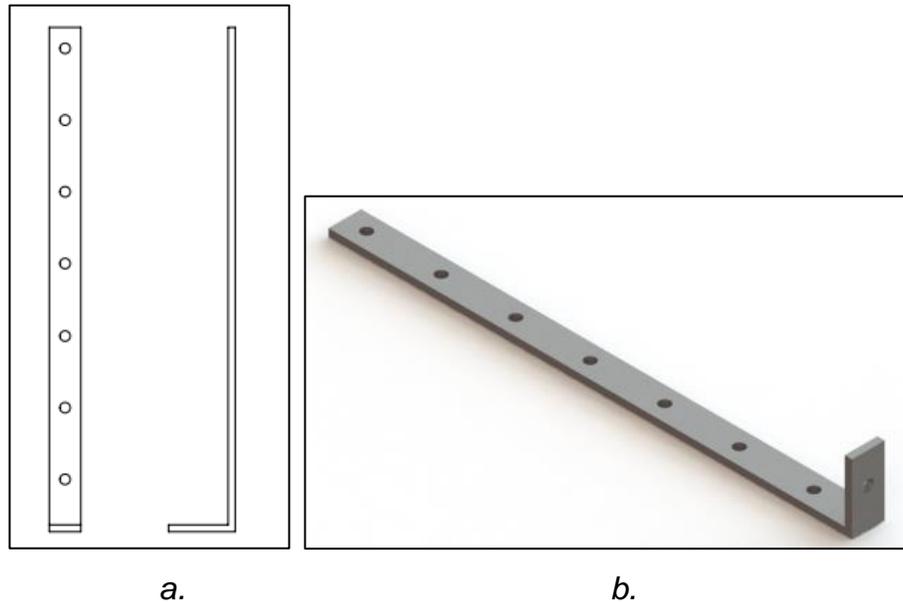
a.

b.

Figura 15: Soporte lateral corto, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b).

Fuente: propia.

En las Figuras 13, 14 y 15 se puede observar, cómo estas tres piezas tienen un corte en forma de rectángulo en su interior, cuya finalidad es permitir un movimiento lineal-vertical de la base inferior del sistema de pisado.



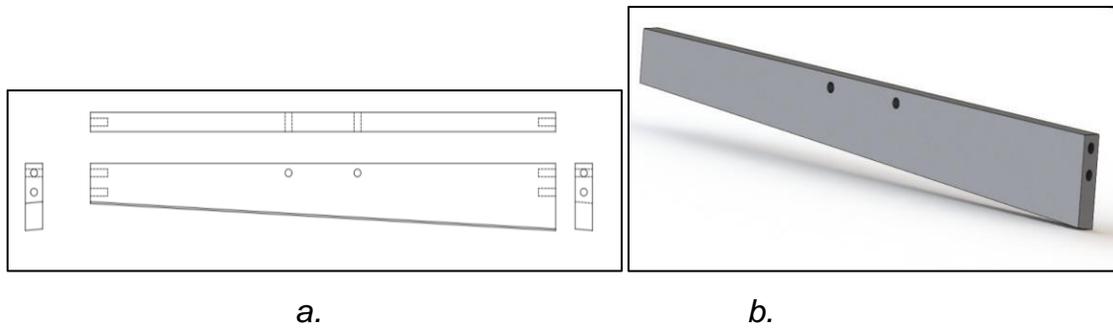
*Figura 16: Soporte lateral para guías lineales, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b).*

*Fuente: propia.*

### **3.8.2. Sistema de cuchillas.**

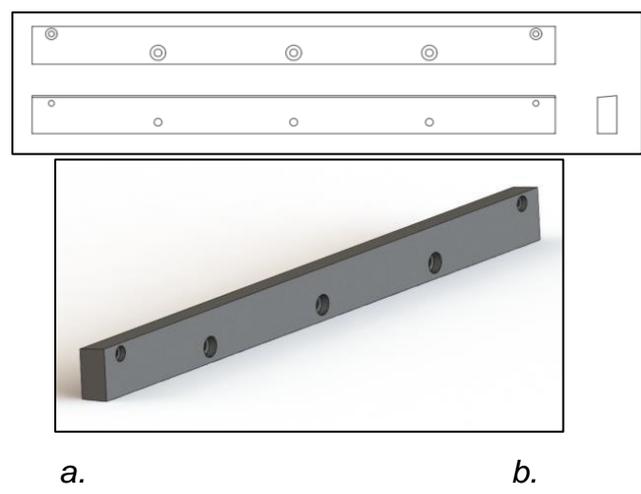
La máquina cizalladora consta de dos cuchillas superpuestas llamadas cuchilla superior y cuchilla inferior. La cuchilla superior tiene cierto ángulo de inclinación con respecto a la horizontal cuya función es disminuir la fuerza necesaria para hacer el corte. Esta está sujeta al vástago del cilindro neumático en su parte superior y por los laterales está acoplada a las guías lineales.

La cuchilla inferior es totalmente recta y permanece fija sobre la estructura de la máquina, anclada a esta por medio de tornillos avellanados, cuya cabeza está incrustada en la cuchilla para que no interfiera con el proceso de corte. Idealmente las cuchillas deberían de fabricarse en acero D2. Al ser estas piezas tan fundamentales dentro del proceso de corte, se opta por mandar a fabricarlas a una empresa especializada.



*Figura 17: Cuchilla superior, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b).*

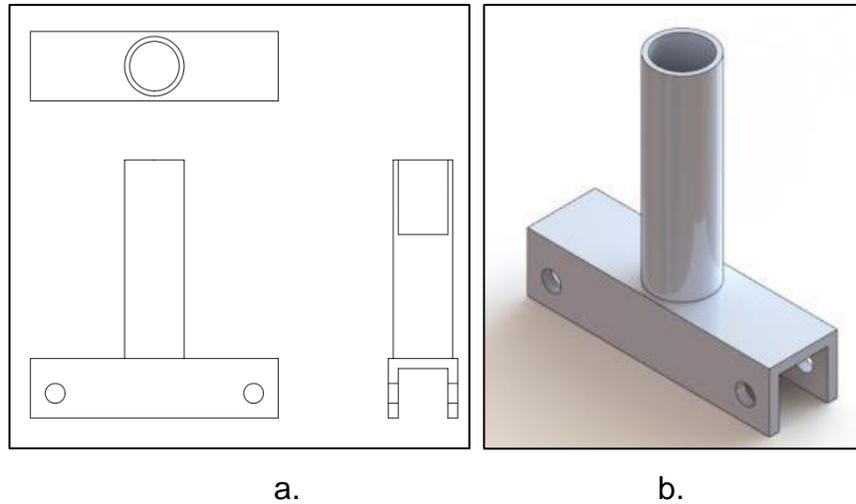
*Fuente: propia.*



*Figura 18: Cuchilla inferior, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b).*

*Fuente: propia.*

Para transmitir la fuerza del cilindro neumático a la cuchilla superior se utiliza una fijación por horquilla, cuya fabricación debe ser en hierro con el fin de disminuir costos y facilitar su construcción. Su plano se muestra en la Figura 19.



*Figura 19: Horquilla para cuchillas, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b).*

*Fuente: propia.*

### **3.8.3. Estructura.**

La siguiente pieza es la estructura que soporta todo el mecanismo. Está diseñada para resistir las fuerzas provenientes del corte. Sobresalen de ella características tales como un refuerzo medio en las patas que contribuyen a dar mayor estabilidad. Cuenta con espacios para la mesa de trabajo, los dos pisadores y para toda la tornillería donde se sujetarán todos los componentes del sistema. La estructura se fabrica en aluminio y su plano se muestra en la Figura 20.

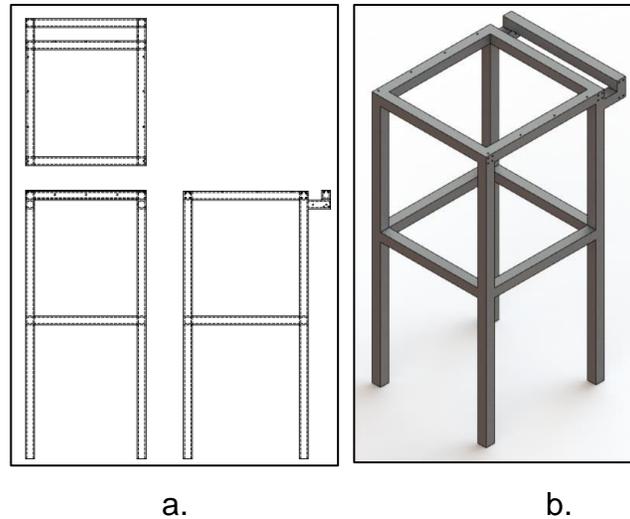


Figura 20: Estructura, dibujo de detalle (a), diseño CAD (b).

Fuente: propia.

#### 3.8.4. Pisador.

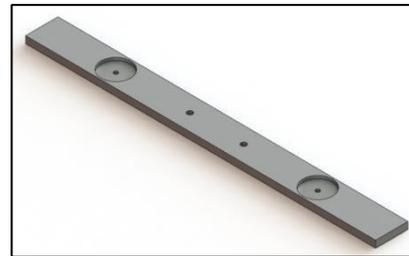
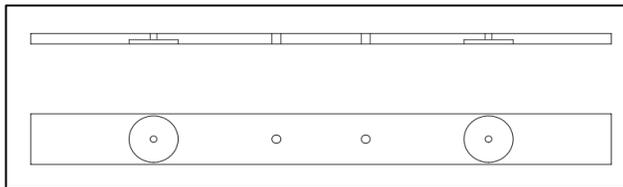
La función del pisador es anular el movimiento de las láminas al momento de hacer el corte. El sistema de pisado consta de un resorte de compresión, el cual se integra dentro de dos tubos, permitiendo el movimiento descendente y ascendente del sistema.

Su funcionamiento se describe a continuación: una vez la cuchilla empieza su movimiento descendente, la placa pisadora presiona la lámina manteniéndola fija, antes que la cuchilla corte el material, mientras realiza el corte y mientras esta se retira nuevamente. Una vez cortada la lámina, la función del pisador es mantener la pieza bien sujeta hasta que la cuchilla se haya retirado completamente, de lo contrario, la lámina podría permanecer sujeta a la cuchilla, pudiendo provocar defectos en el proceso de corte.

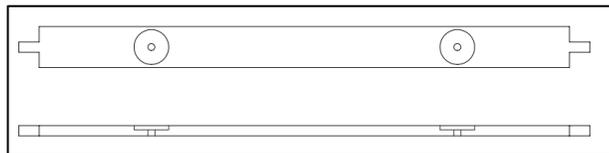
Para diseñar el pisador se debe empezar seleccionando un resorte de compresión que proporcione la fuerza suficiente para sujetar la lámina, teniendo en cuenta que la fuerza requerida para el corte es de 10.53 N. Según [10] seleccionamos un resorte que requiera la misma fuerza para poner todas sus espiras en contacto. El muelle de compresión se selecciona del catálogo de la compañía Lee Spring Company LLC, cuyas características se nombran a continuación:

- Referencia: LC 0546J 12.
- Diámetro exterior: 24.64mm.
- Agujero contenedor: 25.40mm.
- Carga: 5kg.
- Longitud sin carga: 101.60mm.
- Longitud carga: 20.31mm.
- $K=0.111\text{Kg/mm}$ .

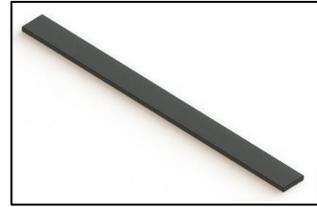
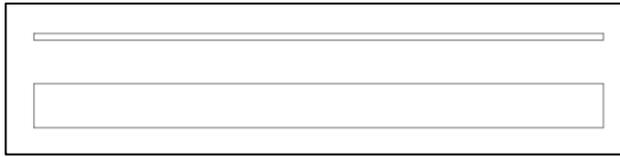
El sistema del pisador está compuesto por una base superior y una base inferior. Esta última posee una “muela” que, como se mencionó anteriormente, se acopla sobre los soportes laterales del cilindro ayudando al movimiento vertical del pisador. Se procura no incurrir en costos adicionales de instalar un sistema guías. También posee una cubierta de goma para la protección de las láminas, dos muelles de compresión, cuatro tubos contenedores de los muelles (dos a cada lado), horquillas de fijación (una para cada pisador). Todas las piezas del pisador, a excepción de la goma, son fabricadas en hierro. Los planos y el diseño CAD de dichas piezas se muestran a continuación.



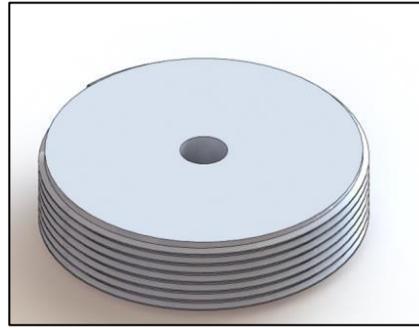
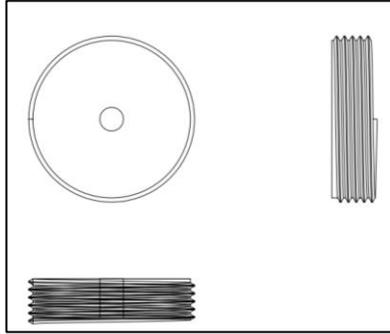
a.



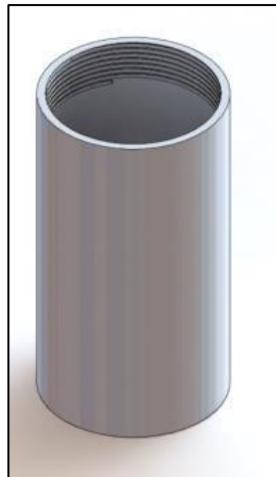
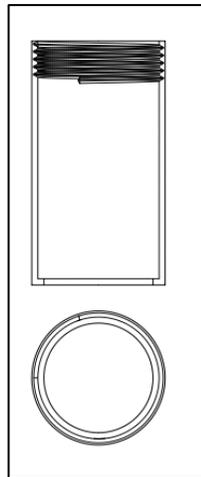
b.



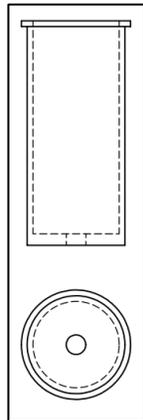
c.



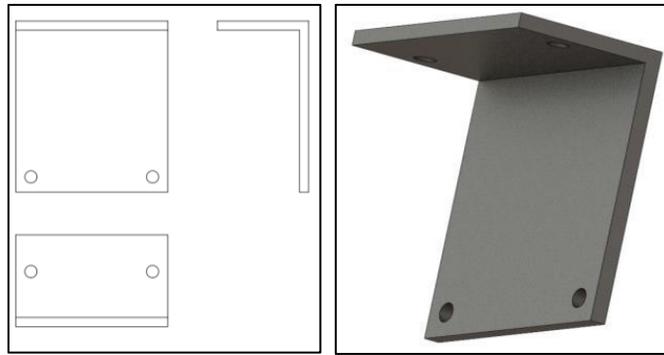
d.



e.



f.



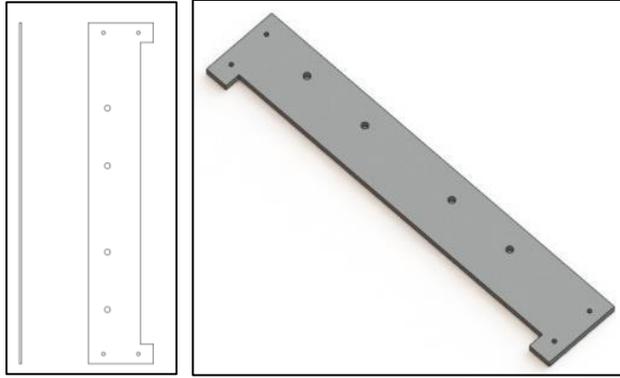
g.

*Figura 21: Elementos del pisador, dibujos de detalle y diseño CAD: base superior (a), base inferior (b), goma de pisador (c), tapón superior (d), cilindro de contención superior de muelle de compresión (e), cilindro de contención inferior de muelle de compresión (f), horquilla de pisador (g).*

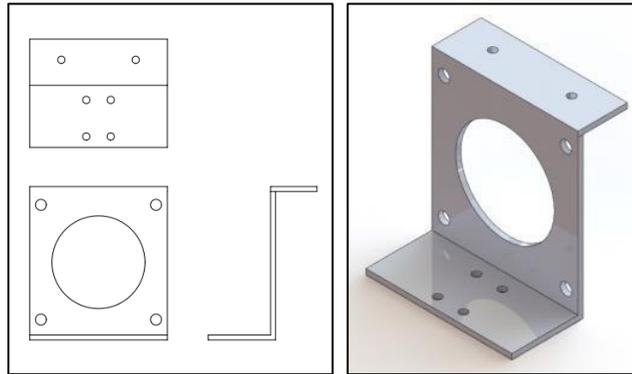
*Fuente: propia.*

### **3.8.5. Soporte de las ventosas electromagnéticas, guías lineales y de motores paso a paso.**

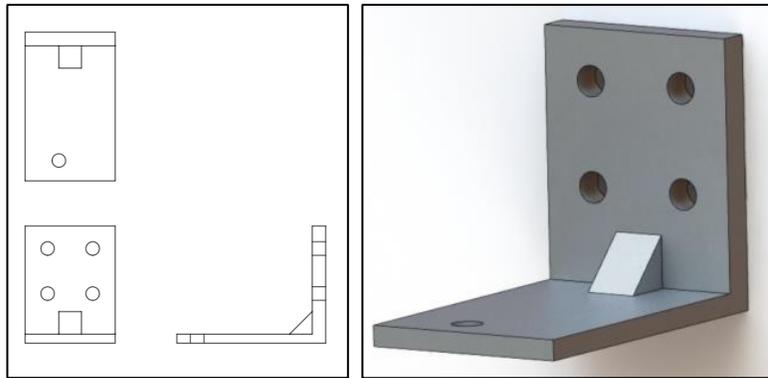
El sistema de transporte de material por medio de ventosas electromagnéticas, se muestra a continuación. El soporte de las ventosas (Figura 19. a) es la pieza donde se enganchan los electroimanes, el soporte de las guías lineales y el motor paso a paso (Figura 22. b) sirven para acoplar los dos motores (uno a cada lado). Así mismo sirve para transferir el peso del sistema de transporte y ajustarlo sobre el carro de las guías lineales. Las piezas mostradas en la Figura 22. c y d son las encargadas de unir las guías lineales a la estructura y de dar mayor resistencia a las guías lineales ante posibles fuerzas aplicadas sobre ellas, respectivamente. Todas las piezas del sistema de transporte están fabricadas en hierro.



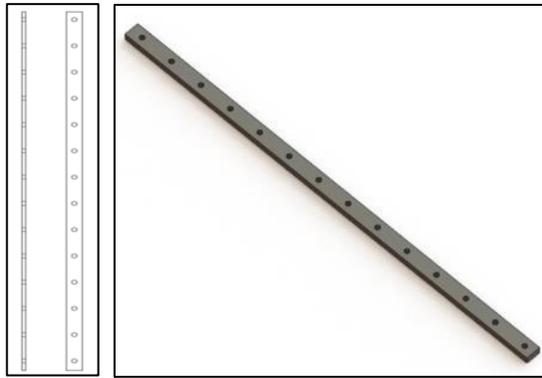
a.



b.



c.



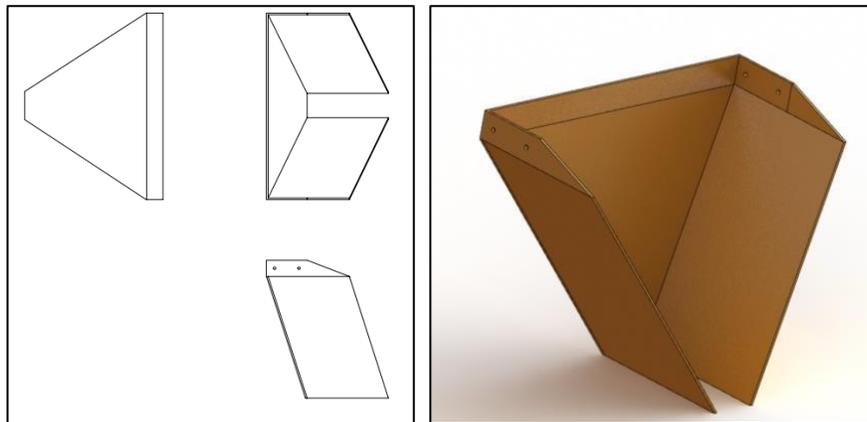
d.

*Figura 22: Soportes: Soporte vertical ventosas electromagnéticas (a), soporte motores paso a paso y ventosas electromagnéticas (b), soportes guías lineales (c), soporte horizontal guías lineales y de motores paso a paso (d).*

*Fuente: propia.*

### 3.8.6. Tolva.

Por último tenemos la tolva que facilita la recolección de las láminas de manera ordenada.



*Figura 23: Tolva.*

*Fuente: propia.*

### 3.9. Resumen de las piezas.

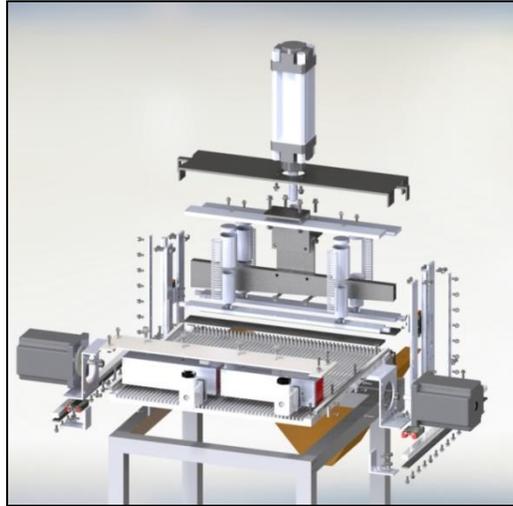
En resumen y en términos más entendibles, a continuación se relacionan las piezas y cantidades de la máquina de corte de láminas de níquel diseñada para el BAMCE::

1. Mesa de trabajo (1).
2. Estructura (1).
3. Soporte horizontal del cilindro neumático (1).
4. Soporte lateral largo cilindro neumático (2).
5. Soporte lateral derecho cilindro neumático (1).
6. Soporte lateral izquierdo cilindro neumático (1).
7. Soporte lateral corto (2).
8. Cuchilla superior (1).
9. Chuchilla inferior (1).
10. Horquilla para vástago. (1).
11. Base superior del pisador (2).
12. Base inferior del pisador (2).
13. Goma para pisador (2).
14. Cilindro de contención inferior de muelle de compresión (4).
15. Cilindro de contención superior de muelle de compresión (4).
16. Horquilla para pisadores (2).
17. Soporte horizontal ventosas electromagnéticas (1).
18. Soporte para motor paso a paso (2).
19. Ajuste de guías lineales a la estructura (2),
20. Soporte de guías lineales horizontales de motor (2).
21. Tolda (1).
22. Cremallera M3x254mm Modulo 0.25 (2).
23. Piñón  $\varnothing 5$  modulo 0.25 (2).
24. Cilindro neumático de doble efecto,  $\varnothing 32$  (1).
25. Ventosa electromagnética NAFSA EMR 100/35 (2).
26. Muelle de compresión Lee Spring LC 0546J 12 (4).
27. Guía lineal Hiwin con carro serie MG x 280mm (2)
28. Guía lineal Hiwin con carro serie MG x 142mm (2).
29. Motor paso a paso Nema 23 (2).
30. Tornillería.
31. Tuercas.

### 3.10. Ensamblaje del mecanismo.

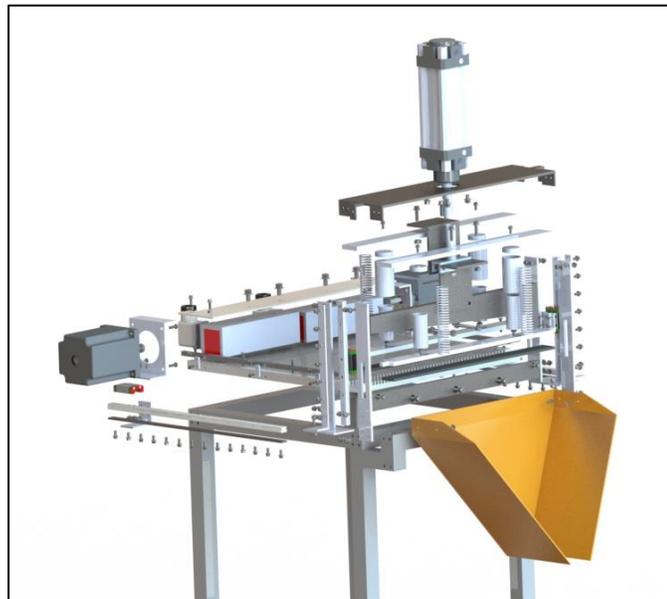
Una vez finalizada la elaboración de las piezas en 3D se procede a realizar el ensamble de las mismas para dar forma al mecanismo final.

A continuación se muestran diferentes vistas del ensamble final del mecanismo.



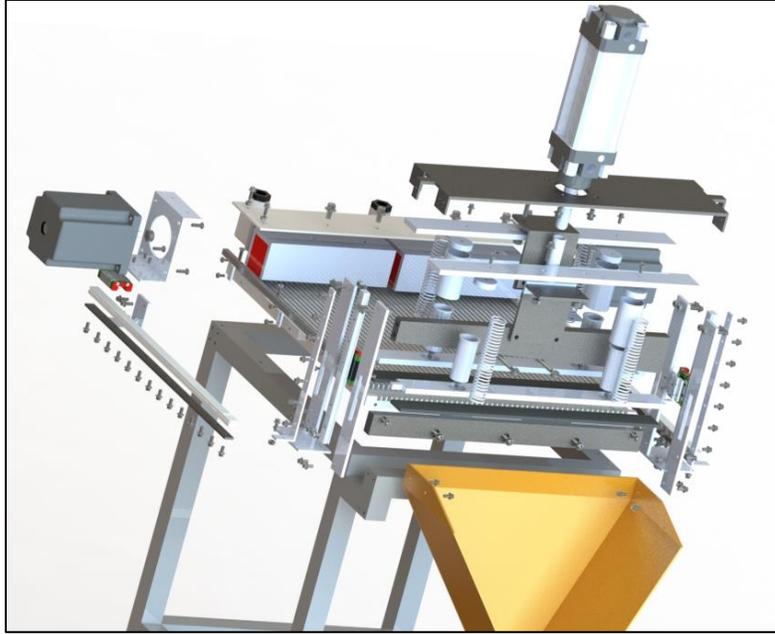
*Figura 24: Vista posterior isométrica explosionada del mecanismo.*

*Fuente: propia*



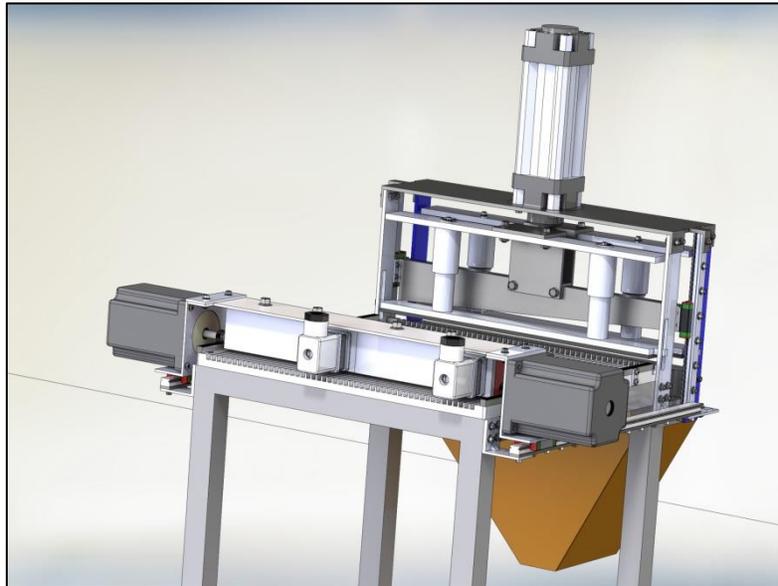
*Figura 25: Vista isométrica explosionada del mecanismo.*

*Fuente: propia.*



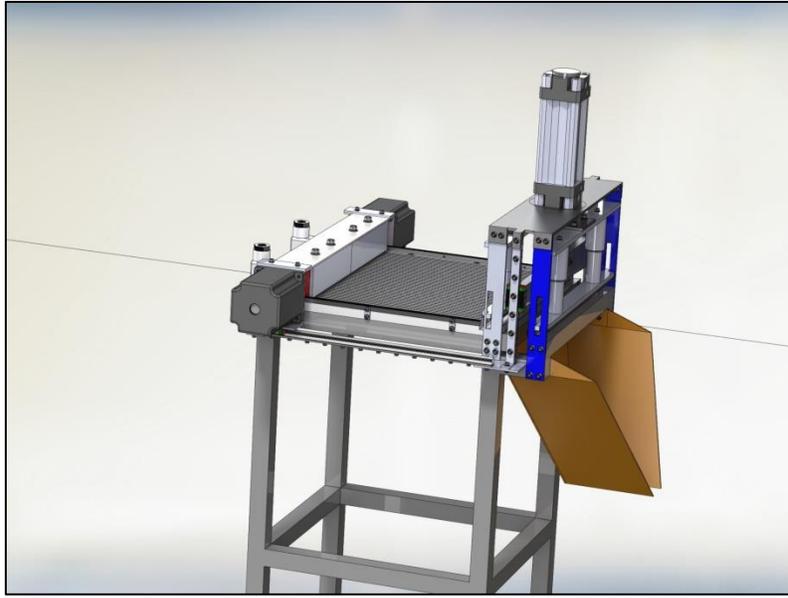
*Figura 26: Vista dimétrica explosionada del mecanismo.*

*Fuente: propia.*



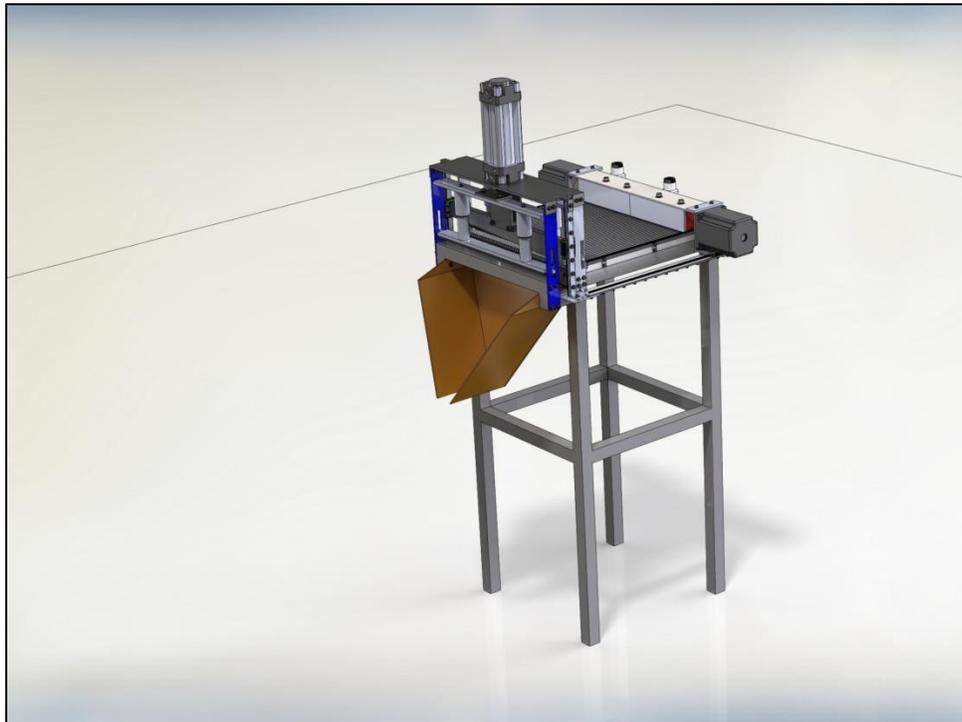
*Figura 27: Vista anterior del mecanismo.*

*Fuente: propia.*



*Figura 28: Vista lateral derecha.*

*Fuente: propia.*



*Figura 29: Vista general del mecanismo.*

*Fuente: propia.*

El ensamble mostrado en las Figuras 24 a 29 incluye todos los componentes necesarios para el correcto funcionamiento del mecanismo tales como los motores paso a paso, ventosas electromagnéticas y guías lineales. También contiene tornillos, tuercas, piñones y engranajes que no fueron incluidos en los diseños de los capítulos anteriores ya que son componentes estándar accesibles fácilmente en el mercado.

## 4. Capítulo VI: EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO FUNCIONAL DEL MECANISMO.

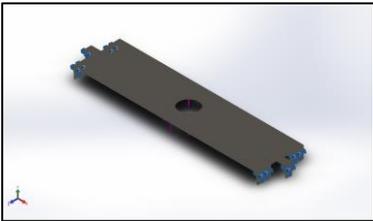
En este capítulo se evalúa el comportamiento del mecanismo. Así se garantiza el correcto funcionamiento del mismo. Para realizar los estudios de comportamiento mecánico se ha seleccionado el software CAE SolidWorks Simulation®, con el cual se simulan las partes principales del diseño. El punto de inicio del análisis funcional se sitúa en el soporte horizontal del cilindro neumático en que está concentrada la fuerza útil del mecanismo.

### 4.1. Análisis estático de las piezas.

#### 4.1.1. Soporte horizontal cilindro neumático.

Para realizar el análisis estático del soporte horizontal del cilindro neumático, inicialmente se define el material de fabricación. Para este caso se usa acero medio al carbono, el cual por su dureza y alta resistencia mecánica, es ideal para la aplicación requerida.

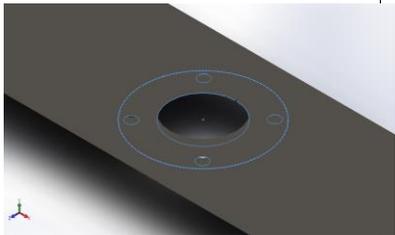
Teniendo en cuenta los cálculos de fuerza requerida para el corte de 142N, se hace el análisis de esfuerzos con una fuerza sobredimensionada a 200N que garantiza el correcto funcionamiento de las piezas. En la Tabla 1 se observan las sujeciones de la pieza y en la Tabla 2 la ubicación geométrica de la fuerza dentro de la pieza.

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<b>Entidades: 10 cara(s)</b> <b>Tipo: Geometría fija</b>

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
<b>Fuerzas resultantes</b>				
Componentes	X	Y	Z	Fuerza Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.00684667	-200.006	-0.0212791	200.006
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

*Tabla 1. Sujeciones de la pieza.*

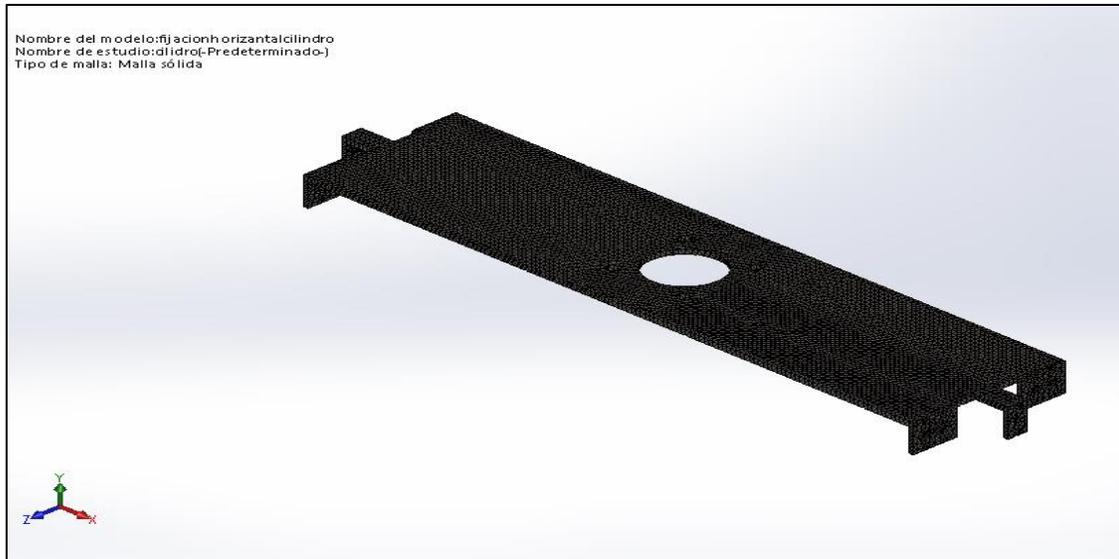
*Fuente: propia.*

Nombre de carga	Imagen de fuerza	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 200 N

*Tabla 2: Fuerza aplicada a la pieza.*

*Fuente: propia.*

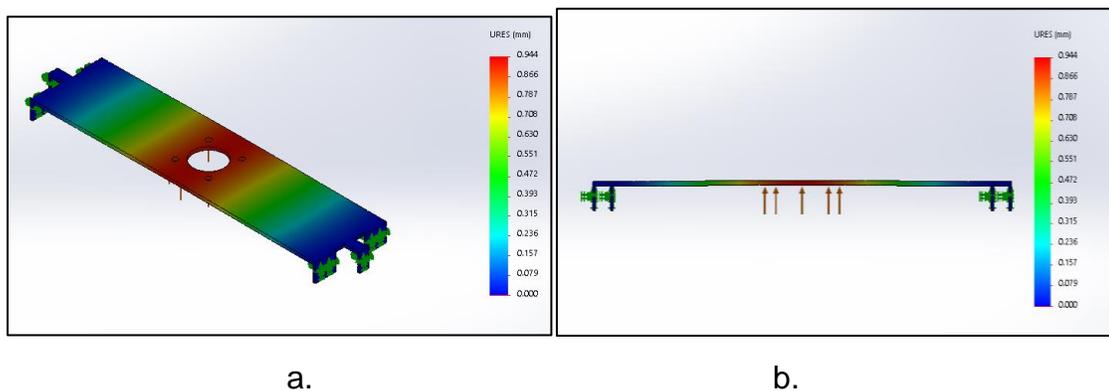
Con las sujeciones y las fuerzas totalmente definidas, se procede a crear una malla en la pieza. Este es el proceso de dividir el modelo geométrico en pequeñas partes de forma sencilla llamados elementos que están unidos entre sí por puntos comunes llamados nodos, tal como se muestra en la Figura 30.



*Figura 30: Mallado de la pieza.*

*Fuente: propia.*

Al ejecutar el análisis estático de la pieza se generan los siguientes resultados:



*Figura 31: Soporte horizontal cilindro neumático: desplazamientos de la pieza, vista isométrica (a), vista lateral (b).*

*Fuente: propia.*

De acuerdo a la Figura 31, primero que todo se debe aclarar que la fuerza aplicada se ejerce verticalmente hacia arriba, ya que debido a la tercera ley de Newton, la pieza siente la reacción de la fuerza al momento de hacer el corte, más no la fuerza que ejerce el cilindro sobre ella.

Aclarado este punto es evidente que la pieza resiste perfectamente la carga aplicada sobre ella, ya que en el punto de máxima deformación (color rojo) de la pieza, esta se desplaza 0.944 mm, con respecto a la horizontal, (vista gráfica en la

Figura 31, b). Este es un desplazamiento que desde ningún punto de vista es capaz de fracturar la pieza. Esta afirmación se valida utilizando el criterio de Von Mises, el cual dice que: un material dúctil, comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de Von Mises es igual al límite de tensión elástica del material.

En la Figura 32 se observa que la máxima tensión alcanzada es de 168.323 MPa, en una fracción del área de la pieza. Este valor es mucho menor al límite elástico del material (282.685MPa), con lo cual queda totalmente garantizado el correcto funcionamiento mecánico de la pieza.

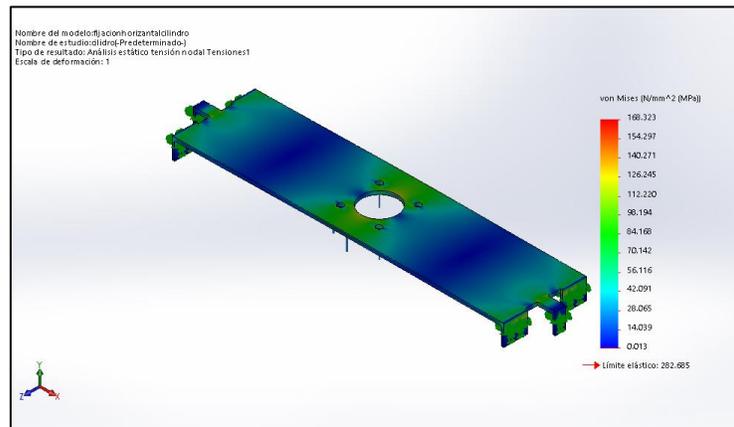
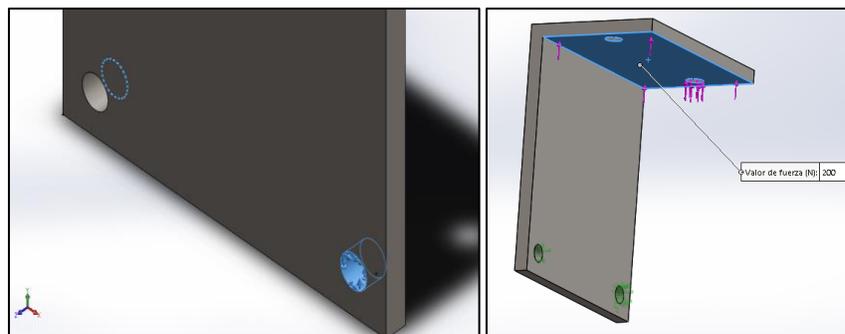


Figura 32: Tensión de Von Mises de la pieza.

Fuente: propia

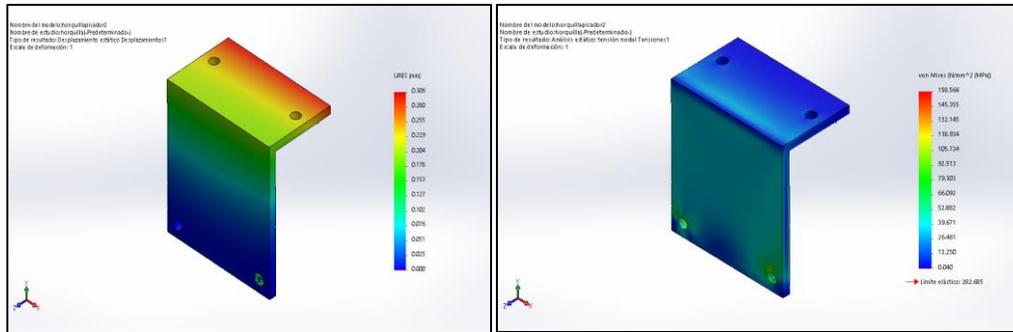
#### 4.1.2. Horquilla para pisador.

Para realizar el análisis estático de la horquilla y siguiendo el procedimiento realizado para la pieza anterior, las sujeciones y la ubicación de la fuerza se muestran en la Figura 33 a. y 33 b., respectivamente.



a.

b.



c.

d.

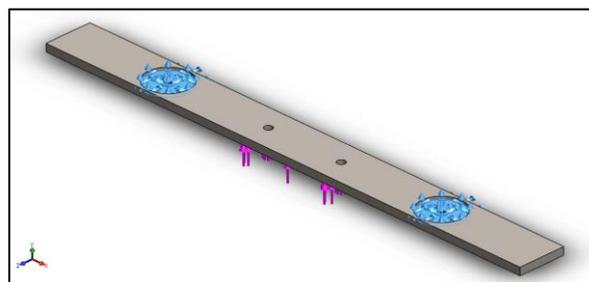
Figura 33: Horquilla pisador: sujeciones (a), ubicación de las fuerzas (b), desplazamientos totales (c), tensión de Von Mises (d).

Fuente: propia.

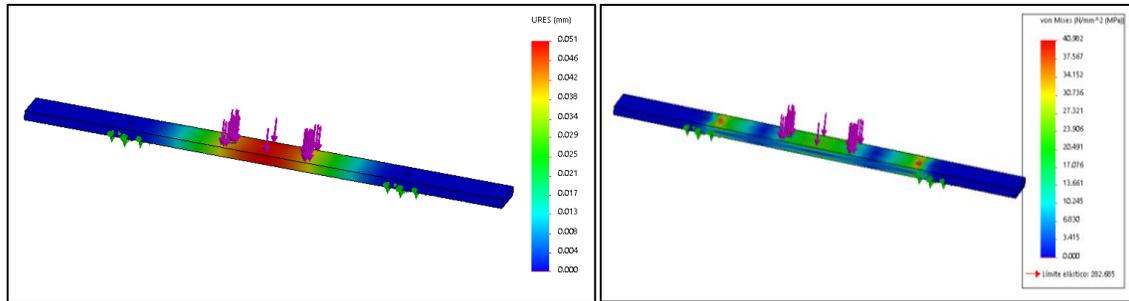
Del análisis estático de la pieza nuevamente se puede concluir que la pieza cumple con las especificaciones para las que fue diseñada dado que el máximo desplazamiento de esta es de 0.305 mm, lo cual arroja una tensión de Von Mises de 158.566 MPa, mucho menor que el límite elástico del material.

#### 4.1.3. Base superior pisador.

Para realizar el análisis estático de la base superior del pisador, se definen los puntos de sujeción en los agujeros de ensamblaje de los cilindros contenedores de los muelles de compresión. Justamente, es en esta ubicación donde la pieza siente la reacción de la fuerza aplicada a ella. La fuerza se aplica directamente en la ubicación donde esta se conecta con la horquilla del pisador. La sujeción y la fuerza, pueden apreciarse mejor en la Figura 34.a.



a.



b.

c.

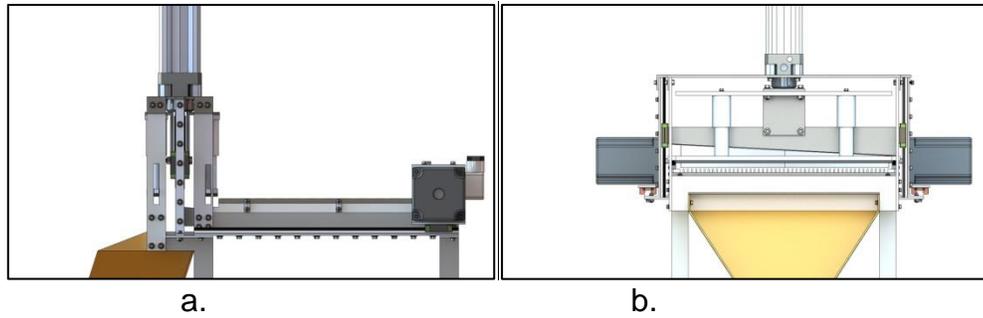
*Figura 34: Base superior pisador: sujeciones y fuerza (a), desplazamientos totales (b), tensión de Von Mises (c).*

*Fuente: propia.*

Del análisis estático se puede concluir que esta es una de las piezas que mejor soporta las cargas ya que el desplazamiento resultante es de apenas 0.051 mm, y la tensión de Von Mises es de 40.982 MPa, la cual está muy distante del límite elástico del material.

#### **4.2. Análisis de movimiento.**

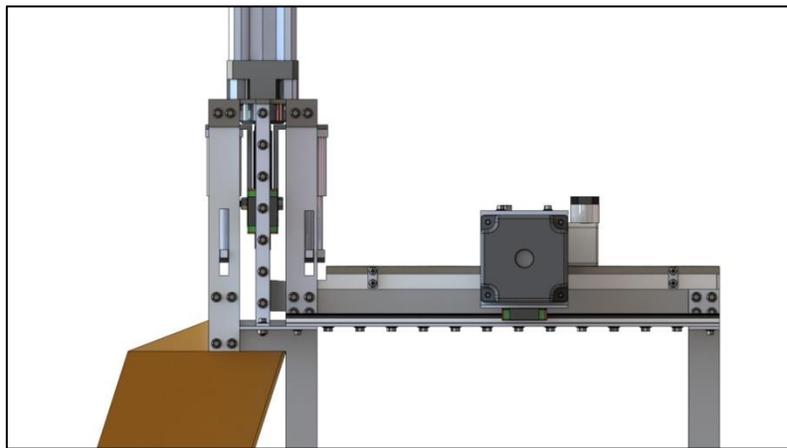
El siguiente paso en la validación del mecanismo es verificar cada uno de los movimientos de sus componentes. Por eso es necesario definir la posición inicial (posición  $P=0$ ). De tal manera que se dispone de las ventosas electromagnéticas al inicio de la mesa de trabajo, del vástago del cilindro neumático totalmente contraído, de la cuchilla superior y de los pisadores a una altura determinada por donde sea capaz de pasar la lámina de níquel y no tropezar con las piezas. Los puntos iniciales se pueden observar en la Figura 35. Es de resaltar que las láminas de níquel deben tener una longitud inicial  $L=0$ , (no mostrado en la figura), al momento de realizar el primer corte.



*Figura 35: Inicialización de los componentes del mecanismo, vista lateral izquierda (a), vista delantera (b).*

*Fuente: propia.*

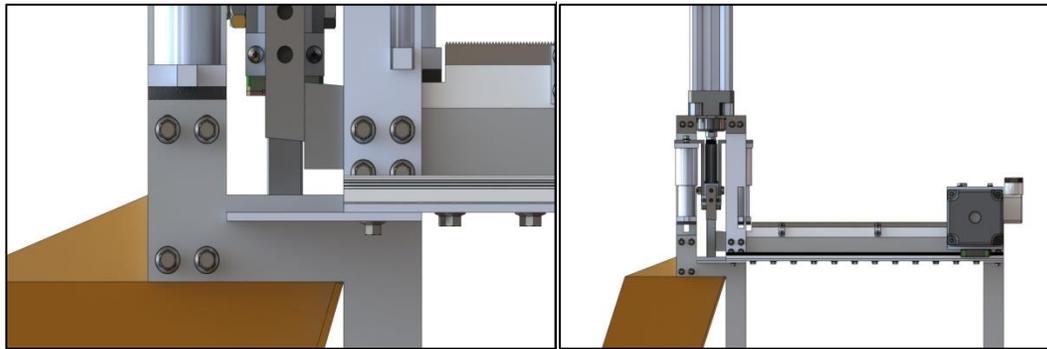
En el siguiente movimiento, el sistema de sujeción de las ventosas electromagnéticas activa el campo magnético, sujeta la lámina y se desplaza con ella hasta la longitud de corte deseada. Cuando se detiene se desactiva el campo magnético y se queda en el sitio mientras el pisador sujeta la lámina. Este movimiento se ilustra en la Figura 36.



*Figura 36: Movimiento de las ventosas electromagnéticas.*

*Fuente: propia.*

En el siguiente paso se activa el cilindro neumático permitiendo el descenso de la cuchilla y el sistema de pisado para que los pisadores sujeten las láminas y la cuchilla realice el corte (Figura 37. a.) (para un mejor entendimiento se han ocultado algunos elementos). Cuando el cilindro está en la posición máxima inferior, el sistema de ventosas inicia su retroceso hasta su posición inicial, evitando traer consigo las láminas (Figura 37. b.).



a.

b.

*Figura 37: Movimiento de cuchillas y pisador, movimiento 1 (a), movimiento 2 (b).*

*Fuente: propia.*

Cuando las ventosas están nuevamente en la posición inicial, se activa el cilindro para iniciar el retroceso del sistema pisador y cuchillas. Con este movimiento todos los sistemas del mecanismo quedan en la posición inicial y listos para iniciar un nuevo ciclo de corte.

## **5. CAPÍTULO V: SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO.**

En reunión con el comandante del BAMCE, el segundo comandante, el jefe de producción de la línea de ensamble de baterías, los operarios de corte, el asesor por parte de la empresa y demás personas interesadas en el proyecto de la máquina cortadora de láminas de níquel, se presentó el proyecto desde sus fases iniciales de desarrollo.

Primero, se describieron detalladamente las piezas y la importancia de cada una dentro del funcionamiento del mecanismo. Luego, se hizo una representación de los movimientos de corte y se finalizó con la estimación de los costos del proyecto, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos por parte del BAMCE.

Algunos detalles de la exposición del proyecto son mencionados a continuación:

Como primer punto, aunque no hace parte del alcance del proyecto planteado originalmente, se recomiendan los siguientes esquemas de mando y potencia para que sean implementados en el mecanismo.

## 5.1. Esquema de potencia.

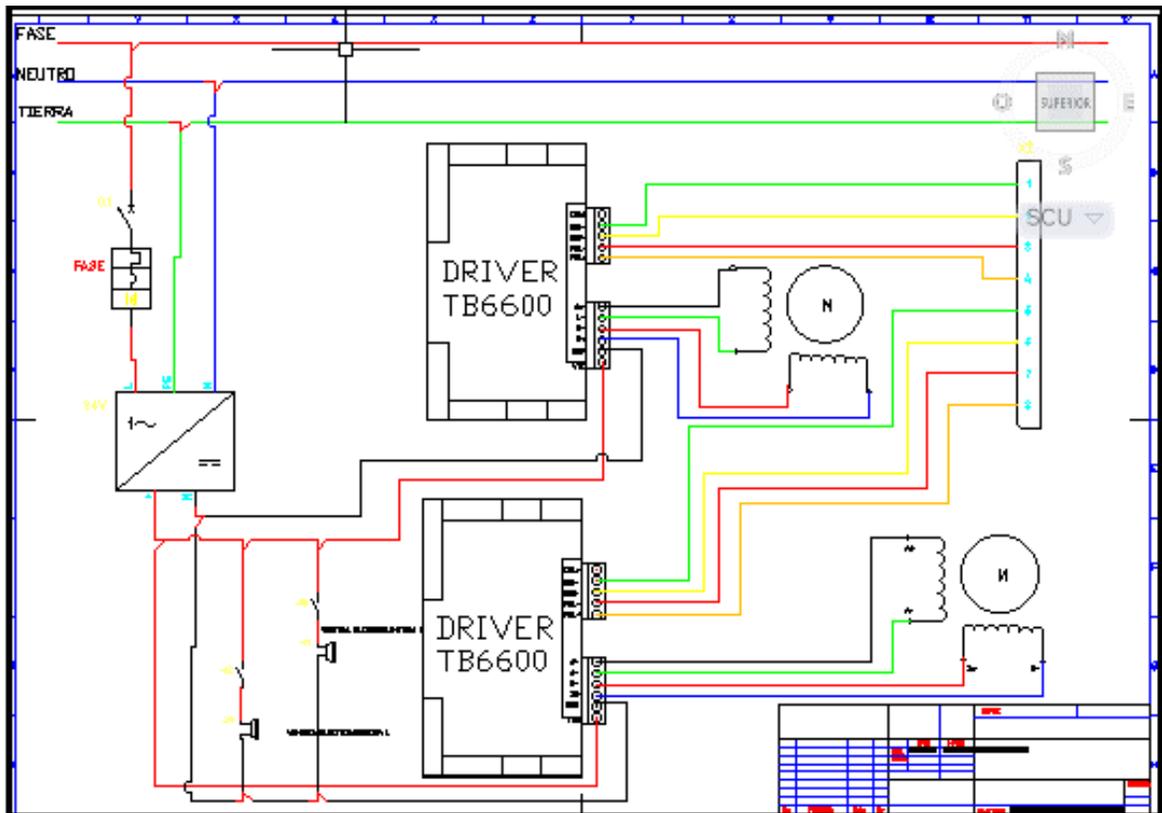


Figura 38: Esquema de potencia.

*Fuente: propia.*

El esquema de potencia inicia con una alimentación de corriente alterna de 110V que alimenta el respectivo circuito de potencia de la máquina cortadora. El interruptor (Q1) cuenta con una protección térmica que se activa en caso de eventuales sobrecalentamientos generados por picos de corriente. Además se conecta una fuente conmutada que entrega 24V de corriente directa la cual incluye su propia protección.

A la fuente previamente mencionada se conectan los Drivers TB6600 que entregan la potencia a los motores paso a paso Nema 23 (estos drivers reciben la señal del microcontrolador tal como se mostrará en el esquema de control) y a los contactos normalmente abiertos de los relés que activan las ventosas electromagnéticas encargadas de realizar el movimiento que necesita el material que se cortará.

Se muestra una bornera X2 que recibe las señales de los pines de salida del microcontrolador PIC 16f874A.

## 5.2. Esquema de control.

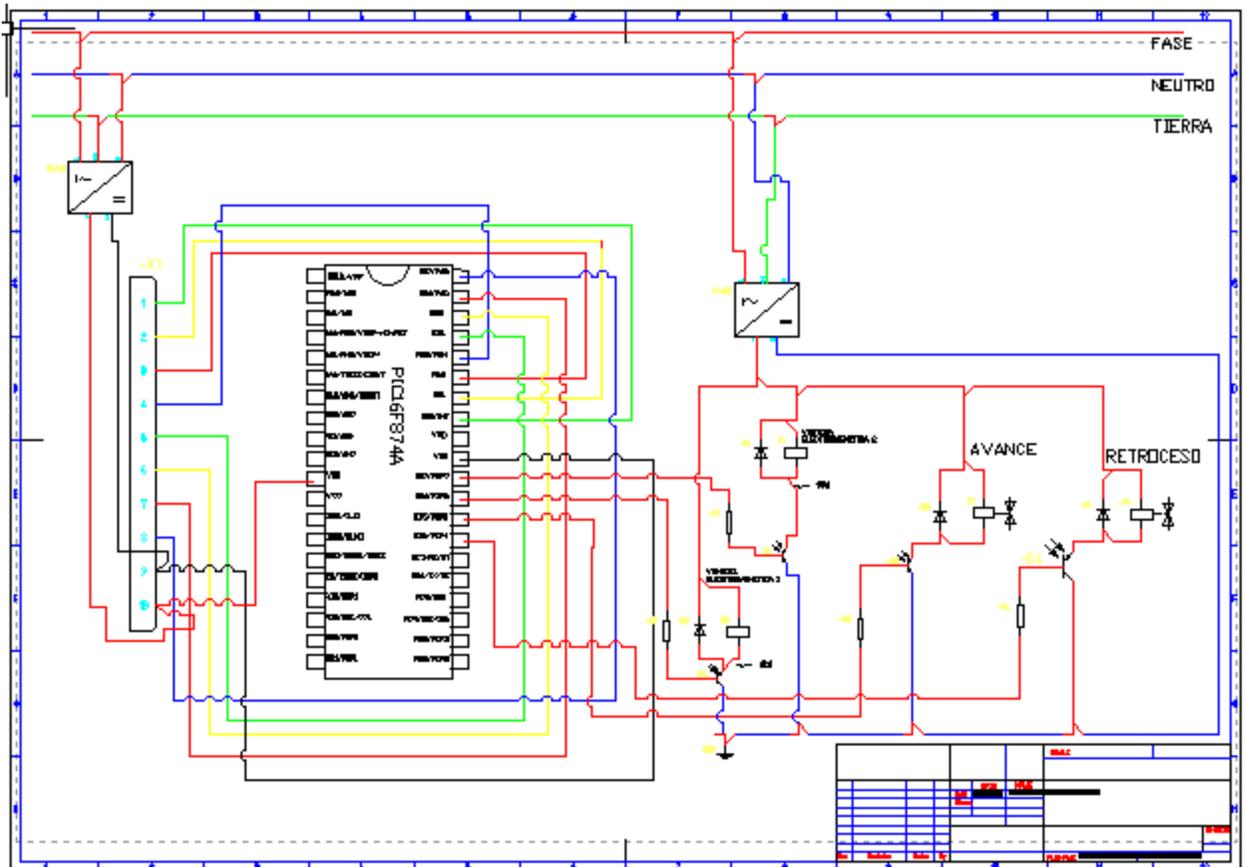


Figura 39: Esquema de control.

Fuente: propia.

En el esquema de control presentado en la Figura 39 se conectan dos fuentes a la red de 110V AC, con salidas de 5VDC y 12VDC respectivamente. La fuente de 5V alimenta el microcontrolador PIC 16F874A que mediante la programación pertinente utilizará los pines de salida para enviarle la señal por pasos al driver TB6600 y generar los movimientos de los motores Nema 23 que consisten en transportar el material para realizar los cortes con las medidas requeridas.

Este microcontrolador tiene a su salida una configuración tipo switch mediante un juego de transistores para activar las diferentes bobinas y electroválvulas.

Estas realizan el movimiento del cilindro de doble efecto que permite el movimiento de la cizalla.

Para la etapa de potencia las fuentes de 5VDC y 12VDC tienen su propia protección.

### **5.3. Estimación de costos**

A continuación se estiman los costos asociados a la fabricación de la máquina de corte de láminas de níquel. Las cotizaciones se realizaron por medio de la división de investigación y desarrollo del BAMCE. Cabe aclarar que el BAMCE cuenta con herramientas de maquinado, torno y personal capacitado donde se fabricarán la mayoría de piezas no especializadas de la máquina. Esto permite una máxima reducción de los costos de mano de obra asociados a los procesos de fabricación de las piezas. Únicamente se incurren en los costos de materias primas.

#### **5.3.1. Materias primas.**

El aluminio para la fabricación de la mesa de trabajo y la estructura de la máquina tienen un valor de COP \$250.000.

El acero en el que se fabrican los soportes donde se aplican las cargas de la máquina se cotizan por un valor de COP \$130.000.

El hierro para la fabricación de las piezas de menor complejidad se cotiza en COP \$75.000.

#### **5.3.2. Piezas especializadas.**

En este ítem se definen como piezas especializadas a todas aquellas que requieren de un amplio conocimiento y/o una infraestructura adecuada para su proceso de fabricación. Bajo estas condiciones el BAMCE no puede producir piezas especializadas dentro de sus instalaciones, como motores, sistemas electromagnéticos, microcontroladores, etc.

- Las cuchillas de la cizalla tienen un costo de COP \$240.000.
- Los muelles de compresión tienen un valor de COP \$25.000

- El cilindro neumático de doble efecto Festo tiene un valor de COP \$500.000.
- Dos ventosas electromagnéticas por un valor de COP \$2.400.000.
- Guías lineales Hiwin incluido el carro de transporte COP \$1.600.000
- Motores paso a paso Mena 23 COP \$ 640.000.
- La tornillería incluido los piñones, cremallera, tuercas, tornillos, etc. tienen un valor aproximado de COP\$50.000.
- Sistema de potencia y control COP\$427.800.

<b>Pieza</b>	<b>Costo</b>
Aluminio.	\$ 250.000.
Acero.	\$ 130.000.
Hierro.	\$ 75.000.
Cuchillas.	\$ 240.000.
Muelles de compresión.	\$ 25.000.
Cilindro neumático de doble efecto FESTO.	\$ 500.000.
Ventosas electromagnéticas.	\$2.400.000.
Guías lineales Hiwin.	\$1.600.000.
Motor paso a paso Mena 23.	\$640.000.
Tornillería.	\$50.000.
Disyuntor monofásico.	\$40.000.
Fuente 24V 16.7 A 400 W.	\$115.000.
Fuente 12V 5A 16 W.	\$45.800.
Fuente 5V 2A 16 W.	\$25.000.
Electroválvula Neumática.	\$170.000.
Relé.	\$12.000.
Microcontrolador PIC.	\$20.000.
<b>Total.</b>	<b>\$6.337.800.</b>

*Tabla 3: Estimación de costos.*

*Fuente: propia.*

Con la primera estimación de costos se prevé que la máquina cortadora únicamente en materias primas y piezas especializadas tiene un valor aproximado de COP \$6.337.800. El BAMCE no requiere una estimación de precios de fabricación de las piezas no especializadas, de ensamblaje ni mano de obra, porque, como se mencionó previamente, cuenta con equipos y personal calificado cuyos costos son asumidos directamente por el Estado colombiano.

Debido a que la máquina cortadora es prioritaria para el desarrollo tecnológico de la línea de ensamble de baterías y gracias a la buena acogida que tuvo la propuesta presentada, se acordó la asignación de recursos económicos y talento humano para continuar con su desarrollo.

Igualmente se nombró a una persona que en adelante será la directamente responsable del proyecto. Además se dio inicio a los contactos con los diferentes proveedores de las piezas y materias primas. También se decidió que el proyecto fuese presentado al Estado Mayor de la Brigada de Comunicaciones etiquetado como prioritario, con miras a conseguir mayor financiación y recursos en fases posteriores de su desarrollo.

## **6. CONCLUSIONES.**

Del desarrollo del proyecto se puede concluir inicialmente que usando un software CAD, se reduce significativamente el tiempo de diseño, se facilitan enormemente los cálculos y se optimiza todo el proceso de diseño.

El desarrollo de nuevos productos implica centrarse en la fabricación del mismo. Pero, también, involucra un conocimiento completo del entorno, de los proveedores de las materias primas y componentes, del usuario final y sobre todo del aprovechamiento de los recursos que se tienen a la mano con el fin de optimizar los costos.

Igualmente la información suministrada por el personal de planta y cercanos a la línea de producción es fundamental al momento de realizar un diseño que satisfaga tanto los requerimientos del proceso de corte como las necesidades económicas de la dirección.

Así mismo todo nuevo mecanismo que se introduzca en un proceso industrial existente debe contar con requerimientos mínimos de seguridad, calidad y eficiencia al momento de realizar la tarea para la que fue diseñado, y siempre tendiendo a acoplarse a los recursos con los que se dispone previamente.

También es importante resaltar que con la implementación del mecanismo propuesto, se prevé que el desperdicio de materias primas, por cortes defectuosos y longitudes no acordes se reduzca considerablemente, traduciéndose esto en un ahorro económico y mayor eficiencia del proceso productivo.

De igual manera la máquina cortadora mejora las condiciones laborales del personal de la línea de ensamble de baterías, disminuye el riesgo de sufrir accidentes y sienta un precedente para continuar con la implementación de mejoras tecnológicas en los procesos productivos no solo del BAMCE sino de todo el ejército nacional.

De todo el trabajo realizado en el BAMCE es evidente que aunque haya una necesidad urgente de mejora en un determinado proceso industrial y a pesar de que existan excelentes ideas, estas únicamente se pueden implementar si se

cuenta, por un lado, con la buena voluntad de las directivas y, por otro lado, con los recursos económicos y de talento humano necesarios para su implementación.

## **7. TRABAJOS FUTUROS.**

Debido al alcance de la presente práctica profesional, quedan pendientes como trabajos futuros:

La elaboración de las piezas no especializadas que se pueden fabricar en el taller de mecanizado del BAMCE, así como la compra de las piezas restantes para completar el ensamblaje de la máquina cortadora.

Posteriormente se debe ensamblar toda la máquina cortadora que sería el primer prototipo de la misma, evaluando su desempeño y si es el caso optimizar el diseño y/o piezas.

Por último y con base en el paso anterior se debe construir el producto final que deberá ser instalado en el área de corte del BAMCE.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. Appold, *Tecnología de los metales para profesiones técnico-mecánicas*. Reverté, 1984.
- [2] K. Ulrich and Steven Eppinger, *Diseño y Desarrollo de Productos*, Quinta Edi. Mexico. D.F, 2013.
- [3] F. M. Hasby and D. Roller, "Sharing of Ideas in a Collaborative CAD for Conceptual Embodiment Design Stage," *Procedia CIRP*, vol. 50, pp. 44–51, 2016.
- [4] C. Garcia and J. Carlos, "Tecnología avanzada del diseño y manufactura asistidos por computador - CAD / CAM," 2006.
- [5] J. C. Torres, "Diseño asistido por ordenador," pp. 1–9, 2007.
- [6] L. Enrique, M. Martín, A. R. Sánchez, F. L. Monarrez, and F. Fornelli, "Importancia del diseño industrial," *Cult. Científica y Tecnológica*, vol. 0, no. 59, pp. 107–114, 2017.
- [7] A. Hans, F. Kurt, R. Alfred, and S. Paul, *Tecnología De Los Metales*, REVERTE, S. Barcelona España, 1985.
- [8] A. N. Alberro, *Teoría de Cinemática y Dinámica de Mecanismos*. Barcelona España, 1998.
- [9] D. Cardenas, *Conformado mecánico I*, Primera ed. Quito Ecuador, 1990.
- [10] H. Dubbel, *Manual del Constructor de Maquinas*, Tercera ed. Berlin-Alemania, 1977.