

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la**  
**Producción**

Diseño de una máquina de trinchado de suelos para haciendas de  
banano

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingenieros en Mecatrónica**

Presentado por:

Erick André Ruiz Cedeño

Gabriel Andrés Murillo Zambrano

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

# DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado con todo mi corazón a mis seres queridos, pues han sido un pilar fundamental en mi formación tanto personal como profesional, y son mi motor para seguir creciendo día a día, apoyándome en todas las decisiones que tomo, además de ser mi inspiración y el motivo por el que me esfuerzo a ser cada día una mejor persona.

Además, va dedicado a Dios, pues sin su gracia, no hubiera logrado llegar hasta donde he llegado, dándome sabiduría, paciencia y fuerzas para avanzar en mi camino.

**Erick Andreé Ruiz Cedeño**

# AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar este espacio aquí para agradecerle a mis seres queridos, por ayudarme durante todo este gran viaje, con consejos, buenos deseos y buenas vibras, sin los que no hubiera podido llegar hasta estas instancias.

También, quiero agradecer a todos los elementos involucrados en mi formación primaria, secundaria y profesional, por formarme de la mejor manera posible, para que el día de hoy logre convertirme en lo que soy, con miras siempre a ser cada día mejor.

Finalmente, quiero agradecer a los elementos involucrados en la creación de este proyecto integrador, puesto que han sido un gran equipo de trabajo sin el que esta meta no hubiera sido lograda.

**Erick André Ruiz Cedeño**

## DEDICATORIA

Dedico con mucho amor este proyecto a las personas más importantes en mi vida: mi familia y el amor de mi vida Daniela, quienes son la razón que me impulsa a seguir creciendo profesionalmente y a mejorar a nivel personal, quienes siempre me brindaron su apoyo incondicionalmente durante todo el trayecto hasta llegar a esta tan anhelada meta. Lo logramos.

**Gabriel Andrés Murillo Zambrano**

## **AGRADECIMIENTOS**

No sería posible estar escribiendo estas palabras sin el apoyo de mi familia, mi pareja, amigos, colegas, docentes y compañeros de trabajo, quienes me extendieron su mano cuando lo necesité. Es importante reconocer que me he convertido en la persona que conocen gracias a todas las experiencias que ustedes me brindaron en esta etapa de mi vida, las cuales me formaron como profesional y persona. Por eso, les agradezco inmensamente y espero poder retribuirlos algún día de alguna manera. También, agradezco a mi amigo, compañero de tesis y colega, Erick, en quien he encontrado ingenio, paciencia y dedicación, fundamentales para la culminación de este proyecto.

**Gabriel Andrés Murillo Zambrano**

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Erick Andreé Ruiz Cedeño y Gabriel Andrés Murillo Zambrano damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Gabriel A. Murillo  
Zambrano



Erick A. Ruiz Cedeño

# EVALUADORES

---

**Ing. Bryan Puruncajas**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**Ing. Bryan Puruncajas**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El trinchado de suelos, es una actividad importante que se realiza dentro de las plantaciones de banano, rompiendo la compactación del suelo, y así permitiendo al oxígeno entrar en la tierra lo que mejora el desarrollo del sistema radicular de las plantas y aumenta la cantidad de producto final exportable en un 27%. Las exportaciones bananeras para el país representan un 2% del PIB del Ecuador, lo que vuelve a esta labor en un proceso fundamental dentro del ciclo de producción del banano. Sin embargo, es una actividad sin desarrollo tecnológico, con dos alternativas altamente inviables que llegan a generar grandes pérdidas de tiempo o incluso daños dentro de haciendas.

Para dar solución a este problema, se diseñó una herramienta, la cual, mediante potencia neumática, pueda realizar el trabajo de trinchado de una forma rápida y no invasiva, permitiendo mejorar la calidad del producto final sin necesidad de poner en riesgo la plantación o necesitando de grandes tiempos para realizar el proceso. Para ello, se realizó un enfoque en la automatización y los beneficios de la electroneumática, que permitieron disminuir al menos 2.7 veces los tiempos de espera, generando un proyecto sostenible, de fácil manejo y de bajo costo de mantenimiento, que además tiene un rápido retorno de inversión cumpliendo con las necesidades de diseño.

**Palabras Clave:** Neumática, Banano, Suelos, Trinchado, Herramienta.

## **ABSTRACT**

*Soil carving is an important activity implemented in banana plantations, it breaks the compaction of the soil, allowing the oxygen to enter the soil, achieving a better development of the root system of the plants, reaching an improvement in the quantity of final exportable product by 27%. This, added to the importance of banana exports for the Ecuadorian country, representing 2% of the nation's GDP, make it a fundamental process within the plant's production cycle. However, it is currently an activity without technological development, with two highly unviable alternatives, which generate great loss of time or even damage within the plantation.*

*To solve this problem, a tool was designed that, using pneumatic power, can perform the carving work in a fast and non-invasive way, allowing to improve the quality of the final product without the need to put the plantation at risk, or to have to take great time to carry out the process. To do this, a focus was made on automation and the benefits of electropneumatic, which made possible to reduce waiting times at least 2.7 times, generating a sustainable, easy to use and low maintenance cost project, which also has a low return on investment and that outstandingly fulfills the design needs.*

**Keywords:** *Pneumatic, Banana, Soil, Carving, Tool.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS .....	V
SIMBOLOGÍA .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE PLANOS .....	IX
CAPÍTULO 1.....	1
1.    Introducción .....	1
1.1    Descripción del problema .....	2
1.2    Justificación del problema .....	3
1.3    Objetivos.....	4
1.3.1    Objetivo General .....	4
1.3.2    Objetivos Específicos.....	4
1.4    Marco teórico.....	5
1.4.1    Trinchado de suelos.....	5
1.4.2    Rizosfera.....	5
1.4.3    Factores bióticos.....	6
1.4.4    Factores abióticos.....	6
1.4.5    Nemátodos.....	6
1.4.6    Máquina Neumática .....	6
1.4.7    Controlador Lógico Programable (PLC).....	7
1.4.8    Software de diseño y simulación en 3D .....	7
1.4.9    Software de diseño asistido por computadora .....	7
1.4.10    Software de simulación de circuitos neumáticos.....	7

1.4.11	Herramienta de simulación y programación de PLC .....	8
CAPÍTULO 2.....		9
2.	Metodología .....	9
2.1	Proceso de diseño.....	9
2.1.1	Identificación de la necesidad .....	9
2.1.2	Investigación preliminar .....	9
2.1.3	Planteamiento de objetivos .....	10
2.1.4	Especificaciones de desempeño.....	11
2.1.5	Ideación e invención .....	11
2.1.6	Análisis.....	12
2.1.7	Selección .....	13
2.1.8	Diseño a detalle .....	13
CAPÍTULO 3.....		33
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	33
3.1	Consumo eléctrico.....	33
3.2	Cantidad de herramientas por compresor .....	34
3.3	Rendimiento de las herramientas .....	35
3.4	Eficiencia del proceso.....	37
3.5	Análisis dinámico.....	38
3.6	Análisis de costos.....	42
CAPÍTULO 4.....		47
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
4.1	Conclusiones .....	47
4.2	Recomendaciones.....	48
BIBLIOGRAFÍA.....		49
APÉNDICES.....		53

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
PIB	Producto Interno Bruto
$S_y$	Resistencia a la Fluencia
$S_{ut}$	Resistencia Última
DCL	Diagrama de Cuerpo Libre
$R_y$	Reacción en el eje Y
$M_o$	Momento en el origen
$\sigma_d$	Esfuerzo máximo
b	Base
h	Altura
c	Centroide
I	Momento de Inercia
ASTM	American Society for Testing and Materials
$W_p$	VatioPico
HSP	Horas Sol Pico
n	Eficiencia

## SIMBOLOGÍA

m	Metro
mm	Milímetro
kg	Kilogramo
MPa	Megapascal
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
HB	Grado de dureza
N	Newton
cm	Centímetro

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama de bloques de proceso de diseño de Robert L. Norton .....	9
Figura 2.2 Sembradora.....	10
Figura 2.3 Matriz de Decisión Creada .....	13
Figura 2.4 Variación en las propiedades físicas del suelo por profundidad .....	14
Figura 2.5 Garra encargada de realizar el trinchado de suelos .....	15
Figura 2.6 Herramienta penetrando en el suelo. ....	16
Figura 2.7 Diagrama de cuerpo libre de la herramienta penetrando la tierra.....	17
Figura 2.8 Sección rectangular de una de las uñas de la garra.....	19
Figura 2.9 Mecanismo brazo-garra.....	20
Figura 2.10 DCL del apoyo de las 3 garras .....	21
Figura 2.11 Diagrama de fuerza cortante y momento flector para las tres garras penetrando el suelo al mismo tiempo .....	22
Figura 2.12 Diagrama de fuerza cortante y momento flector para una sola garra penetrando el suelo .....	23
Figura 2.13. Cilindro escogido para la penetración junto a su respectivo diagrama .....	25
Figura 2.14 Desplazamiento del brazo de palanca de las garras .....	26
Figura 2.15. Cilindro escogido para el muñequero junto a su respectivo diagrama.....	27
Figura 2.16 Características del tubo cuadrado de acero estructural.....	28
Figura 2.17. Conexión de la fuente de poder del circuito electrónico .....	29
Figura 2.18. Circuito Electroneumático de la herramienta de trinchado .....	30
Figura 2.19. Tablero de distribución de la herramienta.....	31
Figura 2.20. Válvula solenoide escogida junto a su respectivo diagrama.....	32
Figura 2.21. Compresor utilizado para la aplicación neumática. ....	32
Figura 3.1 Disposición de cargas en herramienta .....	38
Figura 3.2 Esfuerzo de Von Mises.....	39
Figura 3.3 Analisis de esfuerzos .....	40
Figura 3.4. Deformación de la herramienta .....	41
Figura 3.5 Factor de seguridad.....	42
Figura 3.6. Diseño final de la máquina, se aprecia el ensamblado junto a un operador	46
Figura A.4.1. Diagrama de desplazamiento deseado para el circuito electroneumático	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Consumo de potencia eléctrica para la herramienta de trinchado .....	33
Tabla 3.2. Configuraciones de posicionamiento de los dos cilindros neumáticos .....	35
Tabla 3.3. Cotización de Sistema de Herramientas para Trinchado.....	43

# ÍNDICE DE PLANOS

PLANO A.1.1 Herramienta neumática de trinchado

PLANO A.1.2. Garras

PLANO B.1.3. Eslabón

PLANO A.1.4. Estructura

PLANO A.2. Diseño Electrónico de la Herramienta neumática de Trinchado

PLANO A.3. Programación Ladder del Controlador Lógico Programable

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, la producción de banano es el segundo producto más exportado del país, por detrás del petróleo y sus derivados, generando 2,003.3 millones de dólares en el primer semestre del año pasado y siendo uno de los pocos mercados con crecimiento a pesar del impacto de la pandemia [1].

Durante el proceso de producción de banano se realiza el trinchado, que se define como la labor de romper la estructura compacta del terreno con la finalidad de facilitar el paso del aire y agua hacia el suelo mejorando la asimilación de fertilizantes o nutrientes al cultivo. El fenómeno de compactación del suelo se debe a su utilidad, en el que los factores como tránsito del personal y presencia de precipitaciones son los principales causantes de la degradación que afecta la estructura porosa generando malformaciones en el sistema radicular de las plantas de banano. La inadecuada admisión de los componentes agregados al suelo incide negativamente en el desarrollo de la planta, por ende, en la productividad de plantación debido a que el peso de cada banano en el racimo disminuye, lo que se ve reflejado en necesitar más racimos para suplir los 18 kilogramos que se requieren en la producción de una caja de banano para exportación.

El proceso de trinchado actualmente tiene dos escenarios: lento y poco efectivo, o, rápido y destructivo. En el primero, se emplea la fuerza humana y un tridente para agricultura desarrollando esta tarea ineficientemente debido a que posee poca penetración, la cual disminuye con el transcurso del tiempo durante la jornada laboral debido al factor agotamiento. Por otro lado, se presenta el uso de maquinaria pesada resultando un proceso rápido en comparación con el anterior, pero, al tratarse de un equipo de gran magnitud se presentan daños a la infraestructura de tuberías para riego, plantas y productos. Ante esta problemática se propone el diseño de una máquina que permita realizar esta labor tomando en consideración que debe garantizar una profundidad constante en el trinchado y no ser invasiva.

## 1.1 Descripción del problema

La producción de banano es una de las fuentes más importantes de ingresos mostrando un crecimiento promedio anual del 4,9% entre los años 2017 y 2019, comprendiendo entre el 35% y 39% del PIB del sector agrícola, respectivamente. Además, el sector agropecuario es el segundo más relevante, antecedido por el petrolero, representando aproximadamente el 2% del PIB general de la nación y ocupando hasta el 2017, 162.236 hectáreas de sembríos. Por esto, el Ministerio de producción ha categorizado como pequeños, medianos y grandes productores a las empresas de acuerdo con el área de sembrío que poseen, determinando que los productores que tienen hasta 10 hectáreas de sembrío son pequeños, los cuales representan el 78% de este sector [2].

Sin embargo, existen varios problemas en el cultivo de la planta de banano, siendo uno de los más importantes su pésimo sistema radicular, es decir, su conjunto de raíces, pero, sí un excelente sistema foliar que permite un desarrollo acelerado por lo que se necesita disponer adecuadamente los nutrientes durante su desarrollo, conociendo que la parte efectiva del sistema radicular se encuentra en los primeros 60 centímetros del suelo, el cual debe tener una buena estructura porosa que permita el ingreso de oxígeno para su disponibilidad durante el proceso de crecimiento, debido a las reacciones de oxido-reducción necesarias para la asimilación de nutrientes [3], [4].

Uno de los agravantes de este problema es la degradación del suelo, la cual se define como la compactación que se genera debido a su uso, y es lo que impide la penetración del sistema radicular y limita la disponibilidad de oxígeno en el terreno [5].

La solución a este inconveniente es garantizar la ruptura de la estructura compacta de manera periódica a través del trinchado. Esta actividad se define como el proceso de incrustar un tridente, también llamado Hércules, en el suelo con la finalidad de mejorar la porosidad y elevar la capacidad de flujo de aire, de agua y captación de los agregados. Este proceso se puede realizar de dos formas: manual o con maquinaria. En la primera, se utiliza fuerza humana considerada ineficiente y lenta, llegando a tardar hasta 5 días para trinchar una hacienda de banano de 10

hectáreas. Por otro lado, al emplear maquinaria se vuelve un proceso invasivo para la plantación, que reduce el tiempo a aproximadamente 2 días, a cambio de afectar ciertas tuberías o plantas de los alrededores.

## **1.2 Justificación del problema**

La correcta administración del suelo en las plantaciones de banano influye en la productividad del cultivo por lo que se debe mantener una adecuada relación entre el terreno, la cantidad de agua y la plantación, debido a que, esta relación afecta a la degradación de la superficie, también llamada compactación. Esto provoca la disminución de la propiedad porosa del suelo, lo cual influye en el almacenamiento y flujo de nutrientes, agua y aire. Se debe recalcar, que existen más factores que ayudan a la degradación del terreno como el tránsito de maquinarias y personal que labora en la plantación.

Por otro lado, la compactación también afecta al sistema radicular del banano porque restringe el lugar en el que se aloja. Además, esta reducción de espacio altera el flujo de aire en el suelo que influye en las reacciones durante el proceso de crecimiento de la planta de banano debido a su rol de agente oxidante durante el empleo de fertilizantes y químicos agregados, por ende, afecta a sus indicadores productivos como lo es el ratio, el cual permite relacionar la cantidad de cajas de exportación que se pueden obtener a partir de un racimo de producto, valorado generalmente entre 1.10 a 1.20 en un suelo sin trinchar y 1.50 cuando se realiza este tratamiento al terreno. Los costos generados por reacondicionar el suelo, empleando maquinaria pesada, se establecen entre 500 a 800 dólares estadounidenses por hectárea, mientras que, el gasto implicado en realizar esta labor con mano de obra depende de número de personas.

Como se mencionó, las reacciones químicas poseen un rol importante en el crecimiento del producto y entre las más importantes se encuentra la descomposición de residuos orgánicos provocada por la ausencia de aireación en el suelo, la cual ocasiona una acumulación de material orgánico generando un entorno ideal para el desarrollo de organismos no deseado que perjudican a la planta [6]. Los nematodos parásitos de plantas son causantes del daño y pérdidas en el sector agroindustrial con mayor impacto, atacan al sistema radicular de la

planta, y lo vuelven más débil, lo que a su vez genera un fruto de una menor calidad, disminuyendo el rendimiento de la planta en un 27% [7].

El banano además de enfrentarse a hongos y bacterias debe soportar la interacción con nematodos fitoparásitos que amenazan su integridad atacando raíces y rizomas. Una de las maneras de evitar que estos entes afecten una plantación de bananos es a través de los agregados al suelo que se absorben cuando existe una buena estructura porosa en el terreno. Por otro lado, cuando existen condiciones ambientales desfavorables, como la precipitación, el cultivo de banano se conserva en buen estado manteniendo un trinchado constante con la finalidad de provocar un adecuado desalojo de agua [8].

Por lo tanto, se considera que el proceso de trinchado es crítico en las plantaciones de banano debido a que afecta su desarrollo como producto, justificando el diseño de una máquina que mejore el procedimiento de esta labor que tiene un impacto en la productividad del sector bananero.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar una máquina que permita realizar el proceso de trinchado en plantaciones bananeras de manera no invasiva.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Diseñar un prototipo mediante el ensamble digital de las distintas piezas de la herramienta.
2. Realizar el análisis dinámico mediante simulación por software, utilizando una herramienta de diseño, modelado y simulación en 3D.
3. Seleccionar actuadores y sensores necesarios para la automatización del mecanismo de la herramienta.
4. Efectuar un análisis de rendimiento por planta y por hacienda bananera, que permita observar la eficiencia de la herramienta.
5. Diseñar un circuito electroneumático que permita automatizar el proceso de trinchado, de tal manera que la herramienta sea de fácil operación

## **1.4 Marco teórico**

El sector bananero es un pilar en la economía nacional y para lograr una mejora en este mercado se utilizan distintas tecnologías que permitan un aumento en la producción y calidad del banano, siendo el trinchado, una de las áreas más importantes a tomar en cuenta para el desarrollo de nuevas técnicas de acondicionamiento de suelos [9].

### **1.4.1 Trinchado de suelos**

El trinchado de suelos es una técnica que permite lograr un equilibrio en la rizosfera, permitiendo un mejor desarrollo y crecimiento de la planta, debido al incremento de niveles de oxígeno, permitiéndole romper la compactación del suelo.

Al romperse dicha compactación, se genera un ecosistema de factores bióticos y abióticos favorables para la proliferación de bacterias necesarias para el fortalecimiento de la raíz permitiendo que la ruta de los minerales desde el suelo a la raíz sea menos difícil de recorrer, dando como resultado una mejor plantación.

Además, al momento de realizar el trinchado, se suele inyectar en el suelo fertilizantes que permitan ganar nutrientes, los cuales serán traspasados a la plantación en un futuro [6], [10].

Estas características del trinchado permiten a la planta no sólo gozar de un 70.47% de raíces sanas luego de 90 días, como lo establece Cando Cesar [11] en su estudio, también se puede corroborar en el mismo estudio que la densidad poblacional de nematodos, puede disminuir hasta un 50%.

### **1.4.2 Rizosfera**

La rizosfera es la capa del suelo en la cual se encuentran alojadas las raíces, es el sitio donde surgen las interacciones entre los minerales, la planta y microorganismos necesarios para la vida en general. Recibe este nombre justamente de las raíces, pues son la parte fundamental de dicha capa [12].

### **1.4.3 Factores bióticos**

Los factores bióticos, son todos los elementos vivos que influyen en el ecosistema, sean flora o fauna, sin importar su tamaño o influencia en el ambiente. Estos son los principales actores, puesto que realizan su alimentación, reproducción y funciones vitales dentro del ecosistema, teniendo un comportamiento que será positivo o negativo para el mismo [13].

### **1.4.4 Factores abióticos**

Los factores abióticos, son los elementos inertes que influyen en el desarrollo de un ecosistema, pudiendo ser desde la fuente de energía del ambiente, hasta el lugar donde se desarrolla la vida. Estos a pesar de no ser actores principales, tienen un efecto sobre los factores bióticos, permitiéndoles un mejor o peor desarrollo, dependiendo las condiciones que brinden [14].

### **1.4.5 Nemátodos**

Son microorganismos con una importante influencia en los cultivos, siendo estos los más cuantiosos de la biósfera, con un aproximado de 25000 especies, existiendo estimaciones que incluso logran superar esa cantidad. Al ser tan numerosos, son uno de los parásitos de planta más importantes a tomar en cuenta al momento de realizar la desparasitación, debido a su facilidad para generar debilidad en la planta, por consecuencia, pérdidas en el producto final [11].

### **1.4.6 Máquina Neumática**

Una máquina neumática, es aquella que intercambia energía mediante el aire a presión que fluye en su interior, el cual generalmente se encuentra a una presión superior a 4 bares, son caracterizadas por la presencia de un compresor, y por brindar un movimiento controlado, gracias a la utilización de cilindros neumáticos y válvulas. Posee la capacidad de transmitir potencia a través de grandes distancias, con pérdidas casi nulas.

Finalmente, pueden ser combinados fácilmente con un PLC, a fin de automatizar el proceso gracias a la electrónica [16].

#### **1.4.7 Controlador Lógico Programable (PLC)**

Un PLC, conocido como controlador lógico programable, es una herramienta utilizada para la automatización que cuenta con un microprocesador encargado de manejar entradas y salidas, mediante las cuales, es posible ejecutar acciones, de tal manera que, se activen o desactiven las salidas dependiendo de los valores que se tengan en las entradas, donde por su tamaño y versatilidad, son los más utilizados de la industria [17].

#### **1.4.8 Software de diseño y simulación en 3D**

Son herramientas que permiten diseñar, modelar, simular y en general realizar diseño asistido por computadora de elementos mecánicos en 3D. Funcionan mediante el ensamblado pieza a pieza, es decir, se crean los bocetos de las piezas, luego se transforman a elementos 3D, para formar ensamblajes que pueden ser extraídos como una pieza completamente nueva [18].

#### **1.4.9 Software de diseño asistido por computadora**

Son programas, con una gran variedad de usos en el campo de la arquitectura y la ingeniería, que permiten crear planos precisos en dos y tres dimensiones. Cuenta con varios paquetes de herramientas para realizar diseños de circuitos eléctricos o electrónicos, con ayuda de bibliotecas de simbología de componentes electrónicos [19].

#### **1.4.10 Software de simulación de circuitos neumáticos**

Estos programas permiten observar en tiempo real los resultados de un circuito previamente diseñado, lo que lo vuelve una herramienta muy importante a la hora de realizar cualquier tipo de aplicación relacionada a estos campos [20].

#### **1.4.11 Herramienta de simulación y programación de PLC**

Permiten simular el programa creado de manera local en una computadora, o cargarlo vía Ethernet a un PLC. Además, pueden programarse no solo en lenguaje Ladder, sino también en otros lenguajes lógicos como diagramas de bloques [21].

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En este capítulo se establece la metodología de diseño para la solución propuesta del proyecto. El análisis empieza con la definición de los requerimientos de diseño donde se precisan los tipos de disciplinas utilizadas para desarrollar la alternativa de solución. Posteriormente, se toman los requerimientos obtenidos de diseño, para así empezar a realizar los cálculos dinámicos, y, poder realizar la correcta selección de materiales para el diseño mecánico de la solución.

Una vez diseñada la estructura, se realiza el diseño electrónico de los correspondientes sensores junto al microcontrolador, permitiendo reducir a un botón el proceso de trincar el suelo.

### 2.1 Proceso de diseño

Se empleó el proceso de diseño planteado por Robert L. Norton [22], representado en el diagrama de bloques que se encuentra en esta sección correspondiente a una metodología descriptiva [23], como se aprecia en la Figura 2.1.



**Figura 2.1. Diagrama de bloques de proceso de diseño de Robert L. Norton [22]**

#### 2.1.1 Identificación de la necesidad

Luego de una primera reunión con el cliente, se determinó la necesidad de crear un sistema que permita realizar el proceso de trinchado de suelos de una forma menos invasiva que el uso de maquinarias pesadas que a su vez, fuera eficiente al tener que cubrir varias hectáreas de plantaciones en un tiempo mucho menor al que se tomaba trincar manualmente los suelos.

#### 2.1.2 Investigación preliminar

En el proceso de trinchado se deben considerar ciertos aspectos referentes al sitio físico para poder desarrollar esta tarea. Como primer punto, se debe

tener en cuenta que este tratamiento se realiza a todo el terreno adyacente a las plantas de banano, donde se pueden definir distintos sistemas de sembríos que establecen las distancias entre cada planta, por lo que, la distancia de corredor que se consideró para este proceso de diseño es de 3.00 metros [24]. Por otro lado, introducir un cuerpo a 50 centímetros de profundidad para descompactar el terreno genera un esfuerzo considerable, por lo que, se investigaron herramientas que realicen una tarea similar.

La sembradora utiliza un mecanismo en donde rota un disco labrado que permite realizar la remoción del suelo hasta 15 centímetros como se muestra en la Figura 2.2.



**Figura 2.2 Sembradora [25].**

Otra herramienta, de tipo manual, utilizada en el proceso del trinchado es el tridente que los obreros insertan en el suelo y levantan el material terreo para mejorar su condición. Por último, la utilización de maquinaria de excavación es lo más idóneo para manejar este tipo de esfuerzos debido a sus grandes prestaciones en cuanto a potencia y desempeño, pero, en ocasiones es destructiva.

### **2.1.3 Planteamiento de objetivos**

Para poder satisfacer las necesidades planteadas, se realizó la investigación, se determinó que el sistema encargado de realizar dicha tarea, debía ser una herramienta neumática que permitiera no ser invasiva,

a la vez que pueda ser fácilmente replicable, para poder aprovechar la fuerza humana.

Además, debía cumplir con los requerimientos de decisión mencionados en la matriz de la Figura 2.3, teniendo un enfoque en los criterios de eficiencia, tamaño, viabilidad, precio y facilidad de uso; esto debido a que al revisar los puntos 2.1.1 y 2.1.2, se halló un mayor peso en los criterios de decisión descritos.

Además, se ideó mediante actuadores electroneumáticos, la automatización del proceso, para garantizar una mejora del rendimiento durante un tiempo más prolongado al disminuir la interacción humana mientras se realiza el trinchado.

#### **2.1.4 Especificaciones de desempeño**

- La herramienta debe ingresar a 50 centímetros de profundidad.
- El tamaño promedio de una plantación de banano en Ecuador es de 10 hectáreas correspondiente a los productores pequeños que conforman el 78% [2]. La herramienta debe abarcar esa área en 2 días con 5 horas de trabajo efectivas en una jornada ordinaria de 8 horas, se considera una distancia de corredor de 3 metros se debe recorrer un equivalente a 10 kilómetros resultando una velocidad de 1 km/h considerando que solo se realiza una pasada por pasillo.
- Debe ser portable y de fácil uso.

#### **2.1.5 Ideación e invención**

Para el proceso de ideación e invención, se pensaron tres posibles opciones: una herramienta neumática, un vehículo hidráulico y un rodillo con motor a diésel. Posteriormente, se verificó si podía cumplir con las especificaciones de la sección 2.1.4, empezando a darle forma a la solución con el uso de una herramienta de penetración con garras compuesta por 2 cilindros neumáticos, que son los encargados de realizar el ingreso bajo tierra y empujar los eslabones de la garra creando un movimiento llamado muñequero.

El ciclo de trinchado fue diseñado para ser controlado por un circuito electroneumático que incluya un PLC de tal forma que, con sólo accionar un botón, se realice la penetración de la herramienta en tierra, el muñequero, su retorno y el retiro de la herramienta de la tierra, para lo que se utilizan sensores inductivos.

### 2.1.6 Análisis

Para elegir la solución más adecuada al problema, se consideraron 3 diferentes alternativas mencionadas en la sección anterior, cada una contienen diferentes características, las cuales fueron valoradas al momento de elegir la mejor:

- Herramienta neumática de trinchado.
- Vehículo hidráulico de trinchado.
- Rodillo a Diésel con monitoreo remoto.

Luego, para elegir la solución más adecuada, se tomaron los siguientes criterios de decisión:

- **Viabilidad:** Factibilidad de realizar la solución con relación a los factores económicos, tecnológicos y sociales del país.
- **Facilidad de Uso:** Facilidad de la solución para que un operador pueda manipularlo.
- **Portabilidad:** La capacidad de poderlo utilizar en varios lugares y poderlo desplazar a lo largo de un terreno.
- **Eficiencia:** Cantidad de trabajo que puede realizar la solución en un tiempo determinado.
- **Mantenimiento:** Facilidad y tiempos para realizar un mantenimiento predictivo o correctivo.
- **Tamaño:** Volumen que ocupa la solución en el espacio.

- **Precio:** Coste de implementación, diseño y puesta en marcha.
- **Complejidad:** Dificultad del mecanismo de la solución.

### 2.1.7 Selección

Una vez obtenidas las soluciones propuestas, se procedió a colocarles una ponderación acorde a los criterios de decisión sobre 5 puntos, siendo 0 el más bajo y 5 el más alto. Esto se plasmó en una matriz de decisión que permitió visualizar las opciones de una forma cuantitativa, y a su vez, ayudó a elegir la herramienta neumática de trinchado, la cual obtuvo un mejor desempeño en la matriz realizada además de poseer mejores valores en los criterios de mayor ponderación, como precio, tamaño y mantenimiento, que se pueden apreciar en la Figura 2.3.

Matriz de Decisión											
Pesos	5	4	2	4	3	4	5	3	Resultado		
Opciones	Viabilidad	Facilidad de Uso	Portabilidad	Eficiencia	Mantenimiento	Tamaño	Precio	Complejidad	Puntaje sin peso	Puntaje con Peso	Prioridad
Herramienta neumática de trinchado	5	4	4	3	4	5	4	5	34	128	2
Vehículo hidráulico de trinchado	3	2	1	4	3	1	2	3	19	73	3
Rodillo a Diésel con monitoreo remoto	1	5	5	3	4	5	3	4	30	106	1

**Figura 2.3 Matriz de Decisión Creada**

### 2.1.8 Diseño a detalle

El diseño a detalle contó con dos partes, siendo el diseño mecánico el primero de estos, puesto que su función fue no solo de soportar las cargas a las que se somete, sino también de soporte de los componentes de los otros sistemas.

Posteriormente, se realizó un enfoque en el circuito electroneumático en el que se colocaron los respectivos sensores inductivos y el PLC necesarios para realizar la automatización de la herramienta.

### 2.1.8.1 Diseño Mecánico

Para realizar los calculos correspondientes al desarrollo de esta propuesta, se parte por definir el diagrama representativo del sistema, tomando como referencia el diseno de un martillo hidráulico junto a un tridente de tres uñas.

El requerimiento de profundidad de trinchado se ha definido en 50 centímetros considerando un suelo agrícola para plantaciones de banano. Para ello, fue necesario recaudar la información correspondiente a la resistencia a la penetración de los suelos compactados, la cual se puede apreciar en el estudio realizado por Cobo-Vidal et al. [26], que tiene su máximo valor ubicado entre 10cm y 20 cm, correspondiente a 3.8 MPa.

Además, se calculó cuánta masa de tierra sería movida, para lo que se utilizó un estudio [27] realizado en la provincia de Los Ríos sobre las propiedades físicas del suelo en sistemas agrícolas, se determinaron las características a distintas profundidades de trabajo vistas en la Figura 2.4.

Profundidad	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA						DENSIDAD APARENTE DEL SUELO					HUMEDAD VOLUMÉTRICA						
	B	M	C	P	PA	CV <sub>1</sub>	B	M	C	P	PA	CV <sub>1</sub>	B	M	C	P	PA	CV <sub>1</sub>
m	mm h <sup>-1</sup>						kg m <sup>-3</sup>					m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>						
0-0,1	6,52A	5,75	7,91	0,71	1,28	116ns	1073,6ab	8348b	1228a	1159a	1170a	10*	14	28A	18	24	13	35 ns
0,1-0,2	0,46A	0,45	0,56	1,53	1,69	96 ns	1081,0	1236AB	1072	1461	1253	14 ns	16	13AB	17	16	10	44 ns
0,2-0,3	0,05A	1,56	0,17	2,28	0,71	101ns	1243,0	1321A	1182	1189	1366	13 ns	12	12AB	17	17	16	43 ns
0,3-0,4	0,02Ab	0,79ab	0,26ab	1,65a	0,06ab	102*	1121,1	1278A	1278	1153	1341	9 ns	11	12AB	15	18	15	39 ns
0,4-0,5	0,56A	0,17	0,47	0,61	0,37	108ns	1140,8	1242AB	1263	1183	1506	14 ns	12	9AB	10	10	4	55 ns
0,5-0,6	0,05A	0,08	0,33	0,97	0,43	176ns	822,9	1251AB	1248	1201	1487	19 ns	18	5B	12	13	5	53 ns
CV <sub>2</sub> (%)	234 ns	246 ns	187 ns	63 ns	77ns		19ns	13*	11ns	12ns	13ns		45ns	29*	28ns	29ns	27ns	

**Figura 2.4 Variación en las propiedades físicas del suelo por profundidad [27]**

Donde se observó que para una profundidad de entre 0.5 m a 0.6 m, existe una densidad aparente máxima de 1506 kg/m<sup>3</sup>. Posteriormente se realizó un diseño para la garra la cual, consiste en 3 uñas con un alcance de 500 mm, las cuales serán fabricadas de plancha antiabrasiva de 10 mm, misma que cuenta con una

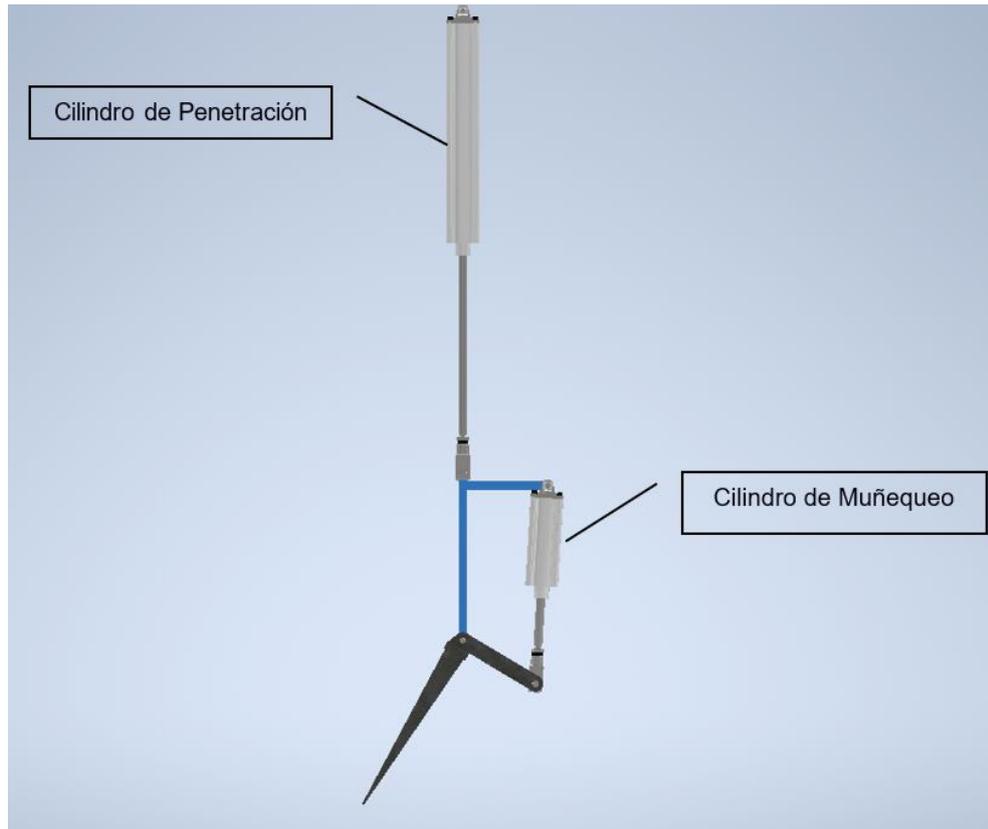
dureza de 400 HB con  $S_y$  de 1163 MPa y  $S_{ut}$  de 1316 MPa, según lo investigado [28].

Luego, se procedió a utilizar una separación entre uñas de 150 mm entre sí, dando un ancho total de la herramienta de 310mm. Esto, sumado a la necesidad principal de realizar una excavación a 500 mm del nivel de la corteza terrestre, dando como resultado una garra con medidas de 500 mm de largo para las uñas y 310 mm de ancho para la garra en general, lo que se puede apreciar en la Figura 2.5.



**Figura 2.5 Garra encargada de realizar el trinchado de suelos**

Después, se procedió a calcular la carga que deberán soportar las garras, para lo que se consideró levantar o empujar una columna de tierra con un volumen de 500 mm de radio y 310 mm de altura que corresponde a la elongación máxima de la herramienta para ingresar, y realizar el muñequero, esto puede apreciarse en la Figura 2.6.



**Figura 2.6 Herramienta penetrando en el suelo.**

Luego de haber seleccionado las medidas correspondientes, se realizaron los cálculos necesarios para determinar la carga a la que se somete la herramienta, además se dimensionan los pistones requeridos, utilizando la fórmula de la densidad siendo la ecuación (2.1).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

Donde despejando queda la ecuación (2.1.1).

$$m_s = V \times \rho \quad (2.1.1)$$

Para calcular el volumen, se toma en consideración un movimiento de medio semicírculo, cuyo radio será la distancia de penetración y su altura será el ancho de la pieza, por lo que el volumen desplazado será igual a la ecuación (2.1.2).

$$V = \frac{\pi \times r^2 \times h}{4} \quad (2.1.2)$$

$$V = \frac{\pi \times (0.5 [m])^2 \times 0.31 [m]}{4} = 0.019375\pi \text{ m}^3 \approx 0.06 \text{ m}^3 \quad (2.1.3)$$

Después, se reemplazan los valores obtenidos y se procede a calcular la masa según la ecuación (2.1.4).

$$m_s = 0.06 [m^3] \times (1506) \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (2.1.4)$$

$$m_s = 92 \text{ kg} \quad (2.1.5)$$

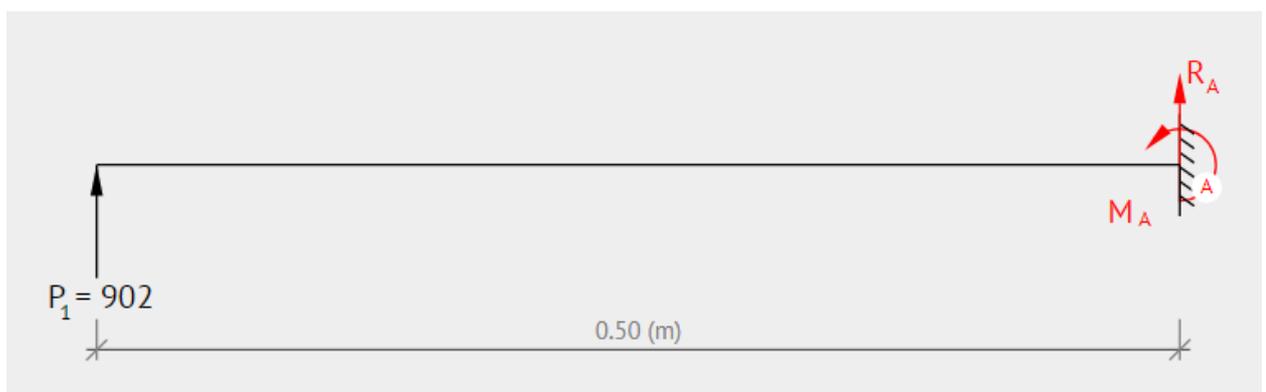
Para posteriormente obtener el peso mediante la ecuación (2.2).

$$W_s = m_s \times g \quad (2.2)$$

$$W_s = 92 [kg] \times 9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right] \quad (2.2.1)$$

$$W_s = 902 \text{ N} \quad (2.2.2)$$

Con este valor obtenido, se procede a realizar el diseño mecánico en el cual se tomó en consideración una viga en voladizo, cuya mayor carga se encuentra aplicada en el extremo final de la garra en el tridente de 50 cm, siendo este el punto más crítico de acción de  $W_s$ , resultando en el DCL descrito en la Figura 2.7.



**Figura 2.7 Diagrama de cuerpo libre de la herramienta penetrando la tierra.**

Una vez realizado este paso, se calcularon las reacciones y momentos, mismos que serán necesarios más adelante. Se utilizaron las ecuaciones de equilibrio estático (2.3) y (2.4).

$$\sum F_y = 0 \quad (2.3)$$

$$R_a + 902 [N] = 0 \quad (2.3.1)$$

$$R_a = -902 N \quad (2.3.2)$$

$$\sum M_o = 0 \quad (2.4)$$

$$M_o - (0.5)[m] \times (902)[N] = 0 \quad (2.4.1)$$

$$M_o = 451 N.m \quad (2.4.2)$$

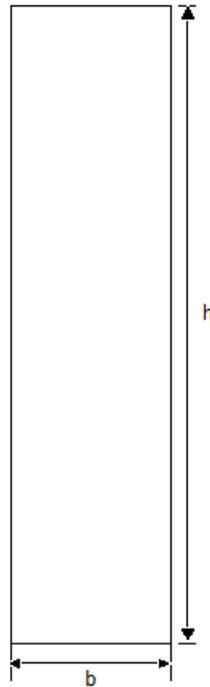
Logrando calcular correctamente todas las reacciones, se fijó un factor de seguridad de diseño de 3.5, se obtiene el esfuerzo máximo según la ecuación (2.5).

$$\sigma_d = \frac{S_y}{3.5} \quad (2.5)$$

$$\sigma_d = \frac{1163 [MPa]}{3.5} \quad (2.5.1)$$

$$\sigma_d = 332.3 [MPa] \quad (2.5.2)$$

Tomando en cuenta la viga de la Figura 2.7, se realizó el diseño con opciones de falla por momento flector y falla por esfuerzo cortante, para lo cual se calculó el valor mínimo que debe tener el ancho de cada uña sabiendo que no debe sufrir daños al momento de trinchar el suelo, considerando que la garra tiene una sección transversal rectangular como se aprecia en la Figura 2.8.



**Figura 2.8 Sección rectangular de una de las uñas de la garra.**

Posteriormente definidas las variables, se diseñó por falla debido a momento flector, utilizando la ecuación (2.6).

$$\sigma_d = \frac{Mc}{I} \quad (2.6)$$

Puesto que se trata de una sección rectangular,  $c$  es igual a la mitad de  $h$ , siendo la distancia mayor hacia un extremo a partir del eje neutro de la sección, además su momento de inercia es igual a la ecuación (2.6.1).

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \quad (2.6.1)$$

Donde reemplazando queda la ecuación (2.6.2)

$$\sigma_d = \frac{\frac{Mh}{2}}{\frac{1}{12}bh^3} \quad (2.6.2)$$

$$\sigma_d = \frac{6M}{bh^2} \quad (2.6.3)$$

$$h = \sqrt{\frac{6M}{b\sigma_d}} \quad (2.6.4)$$

$$h = \sqrt{\frac{6 \times (451) [N.m]}{(0.010)[m] \times (332.3 \times 10^6)[Pa]}} \quad (2.6.5)$$

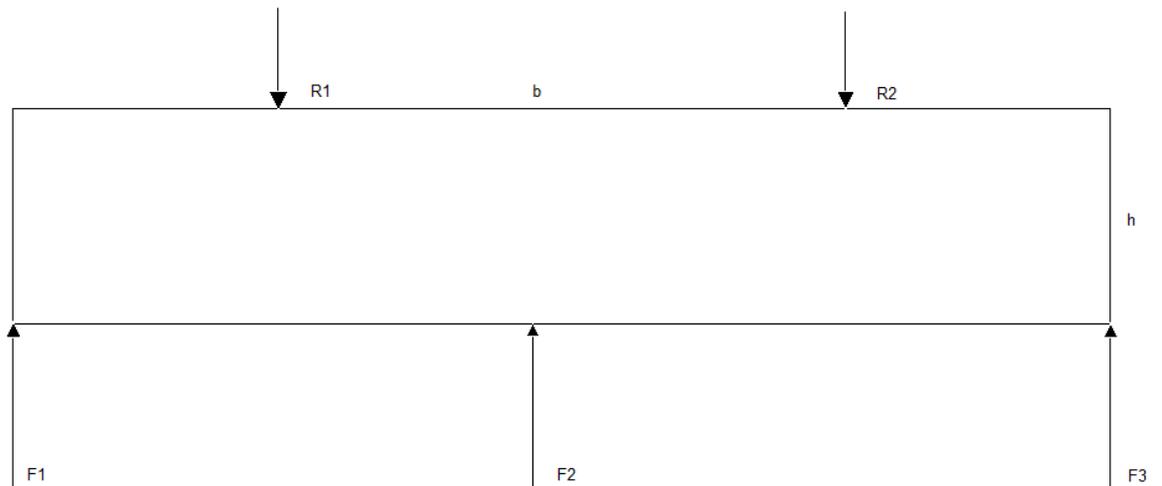
$$h = 0.028 \text{ m} \approx 3 \text{ cm} \quad (2.6.6)$$

Una vez calculado el valor mínimo de h para que las uñas no fallen por flexión, se calculó también el grosor mínimo de la base sobre la que va soportada la garra junto a su mecanismo, el cual determina el movimiento de toda la garra, utilizando como actuador un cilindro neumático, como se puede ver en la Figura 2.9.



**Figura 2.9 Mecanismo brazo-garra**

Una vez definido el DCL del mecanismo, se realizó el dimensionamiento del apoyo de las garras, para lo que nuevamente se aproximó el modelo a una sección rectangular en la que se acoplarán las 3 garras, como se puede apreciar en su DCL en la Figura 2.10.



**Figura 2.10 DCL del apoyo de las 3 garras**

Con esto resultados se procede a realizar el cálculo de las diferentes fuerzas que ejercen sobre el apoyo utilizando la ecuación (2.7).

$$\sum F_y = 0 \quad (2.7)$$

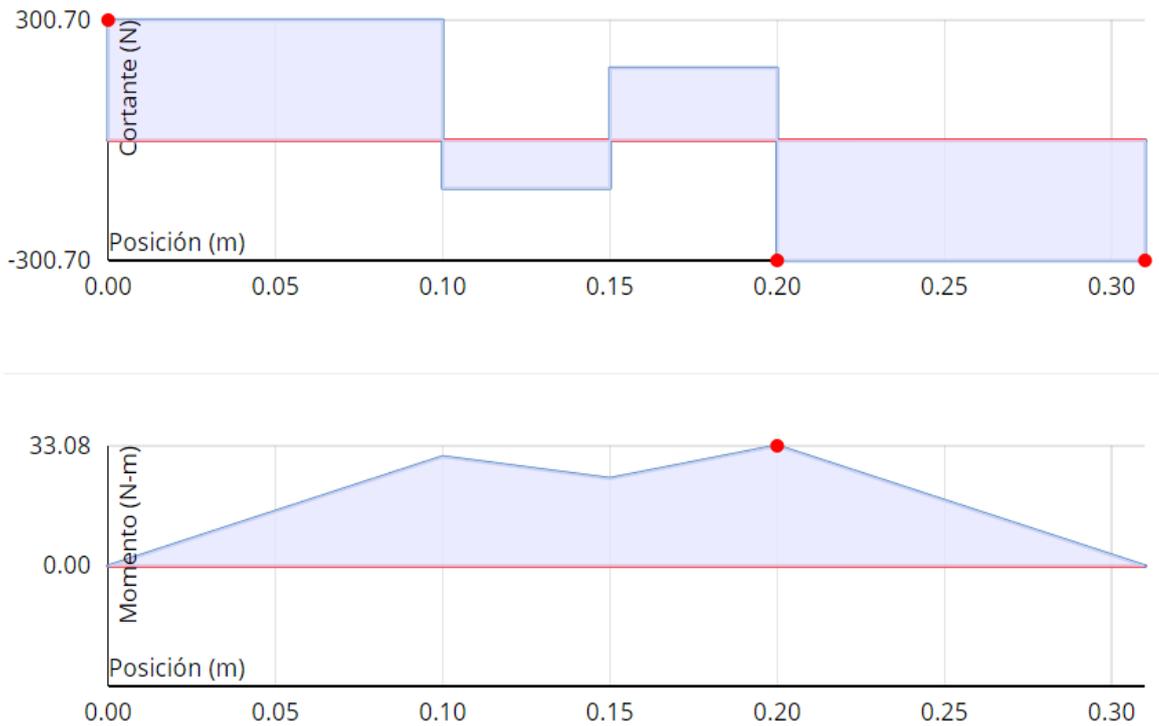
$$F1 + F2 + F3 - R1 - R2 = 0 \quad (2.7.1)$$

$$R1 + R2 = 902 \text{ N} \quad (2.7.2)$$

$$R1 = R2 = \frac{902 \text{ [N]}}{2} = 451 \text{ N} \quad (2.7.3)$$

$$F1 = F2 = F3 = \frac{902 \text{ [N]}}{3} = 300.7 \text{ N} \quad (2.7.4)$$

Obtenidas las reacciones, se graficaron los diagramas de fuerza cortante y momento flector que se pueden apreciar en la Figura 2.11.



**Figura 2.11 Diagrama de fuerza cortante y momento flector para las tres garras penetrando el suelo al mismo tiempo**

Sin embargo, este cálculo sólo es válido en caso de que las 3 uñas penetren el suelo al mismo tiempo, pero puede existir un terreno, cuyo suelo sea tocado por una uña antes que las otras dos, por lo cual también se tomó en consideración para realizar el diseño, en cuyo caso se obtendrían diferentes reacciones según el equilibrio estático de las ecuaciones (2.8)

$$\sum F_y = 0 \quad (2.8)$$

$$F1 - R1 - R2 = 0 \quad (2.8.1)$$

$$R1 + R2 = 902 \text{ N} \quad (2.8.2)$$

$$\sum M_o = 0 \quad (2.8.3)$$

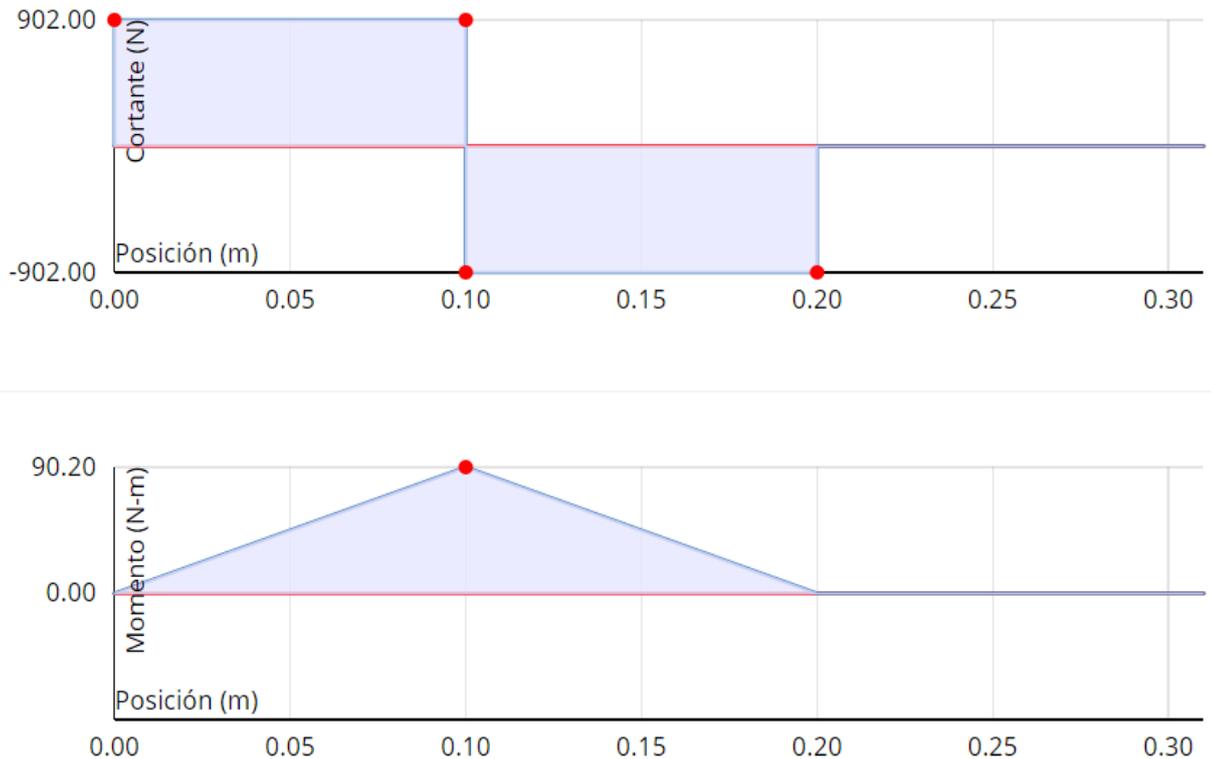
$$R1 \times 0.1 \text{ m} + R2 \times 0.2 \text{ m} = 0 \quad (2.8.4)$$

Se igualan ambas ecuaciones de sumatorias de fuerzas y momentos, obtenemos los resultados (2.8.5) y (2.8.6).

$$R1 = 1804 \text{ N} \quad (2.8.5)$$

$$R2 = -902 \text{ N} \quad (2.8.6)$$

Con lo que se logró visualizar los nuevos diagramas de momento flector y fuerza cortante, tal y como lo muestra la Figura 2.12.



**Figura 2.12 Diagrama de fuerza cortante y momento flector para una sola garra penetrando el suelo**

Con el momento flector máximo al que se somete la viga determinado, se procede a realizar el diseño, para lo que se seleccionó una plancha de acero ASTM 36 de 70 mm de espesor, que cuenta con un  $S_y = 250 \text{ MPa}$ , según se muestra en la documentación de la ASTM [29].

Con esta información, se utilizó la siguiente ecuación para continuar con el proceso de diseño:

$$\sigma_d = \frac{250 \text{ [MPa]}}{3.5} = 71.43 \text{ [MPa]} \quad (2.9)$$

$$\sigma_d = \frac{Mc}{I} \quad (2.9.1)$$

$$\sigma_d = \frac{\frac{Mh}{2}}{\frac{1}{12}bh^3} \quad (2.9.2)$$

$$h = \sqrt{\frac{6M}{b\sigma_d}} \quad (2.9.3)$$

$$h = \sqrt{\frac{6 \times (90.2)[N \cdot m]}{(0.07)[mm] \times (71.43 \times 10^6)[Pa]}} \quad (2.9.4)$$

$$h = 0.010 \text{ m} \approx 11\text{mm} \quad (2.9.5)$$

Finalmente, se calculó la fuerza que necesita el cilindro neumático para penetrar el suelo a la distancia requerida, para ello, se utilizó el valor de la resistencia a la penetración del suelo previamente descrito, y se utilizó un área cuadrada con medida del espesor de la garra, obteniendo así la ecuación (2.10).

$$F_p = \sigma_p \times A_c \quad (2.10)$$

$$F_p = 3.8 \times 10^6 [Pa] \times 0.01 [m] \times 0.01 [m] \quad (2.10.1)$$

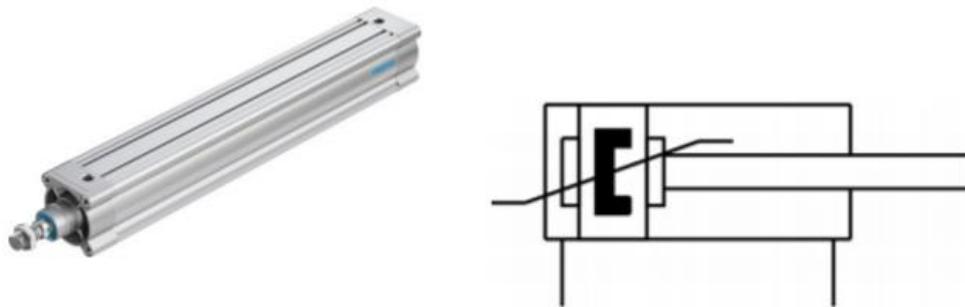
$$F_p = 380 \text{ N} \quad (2.10.2)$$

En donde, esta carga es la necesaria para ingresar una garra, así que, la carga total del cilindro es la vista en la ecuación (2.10.3).

$$F_{pT} = 380 [N] \times 3 = 1140 [N] \quad (2.10.3)$$

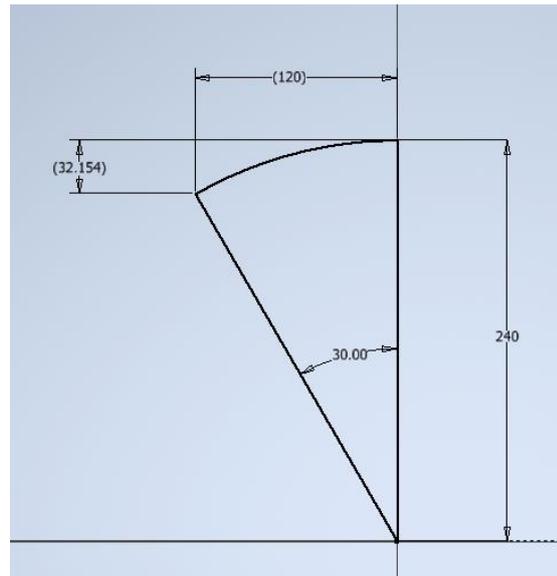
Se seleccionaron los cilindros neumáticos adecuados para la solución, los cuales corresponden a los que poseen un diámetro de pistón de 80 mm que ofrecen, según sus fichas técnicas [30], [31], una fuerza necesaria para lograr realizar el trabajo.

En el caso del primer pistón, encargado de realizar la penetración, se seleccionó el cilindro DSBC-80-500-PPSA-N3, que entrega hasta 3076 N y puede extenderse hasta 500mm, siendo el cilindro presentado en la Figura 2.13.



**Figura 2.13. Cilindro escogido para la penetración junto a su respectivo diagrama**

Por otro lado, para el caso del segundo pistón encargado del muñequero, se decidió utilizar el cilindro DSBC-80-125-PPSA-N3, que entrega la misma fuerza que el anterior, pero se extiende 125 mm, esto debido a que se realizaron los siguientes cálculos para lograr un ángulo de avance del muñequero de 30° aproximadamente, tomando en cuenta un brazo de palanca, previamente elegido de 240 mm como en la Figura 2.14, con un torque resultante de 723 Nm, que se utiliza en la ecuación (2.11), el cual es mayor al necesario para mover el volumen de terreno comprendido en el movimiento de muñequero establecido en 451 Nm, según la ecuación (2.4.2).



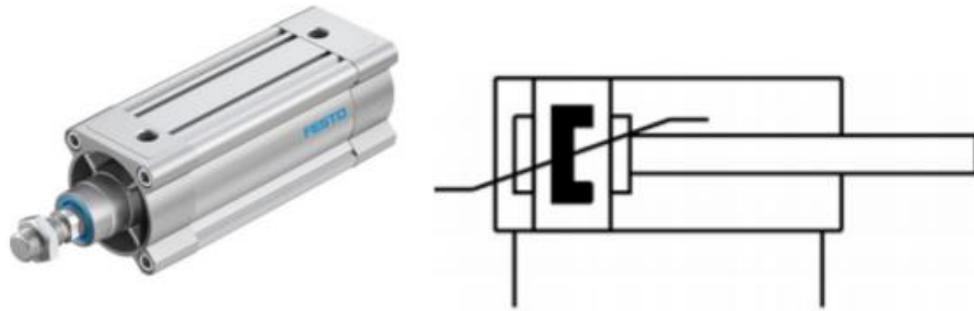
**Figura 2.14 Desplazamiento del brazo de palanca de las garras**

$$L_{cilindro} = \sqrt{(r \times \sin \alpha)^2 + r - (r \times \cos \alpha)^2} \quad (2.11)$$

$$L_{cilindro} = \sqrt{(242 [mm] \times \sin(30^\circ))^2 + 242 [mm] - (242 [mm] \times \cos(30^\circ))^2} \quad (2.11.1)$$

$$L_{cilindro} = 125 \text{ mm} \quad (2.11.2)$$

Una vez determinada la longitud del cilindro de muñequeo, se escogió el actuador que permita cumplir con dichas características, como se aprecia en la Figura 2.15.

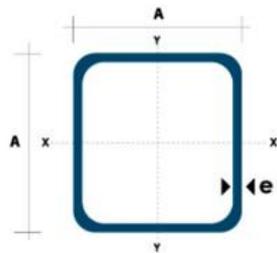


**Figura 2.15. Cilindro escogido para el muñequo junto a su respectivo diagrama**

Finalmente, se debe diseñar la estructura que alojara el cilindro del muñequo para lo cual se utilizó la ecuación de carga crítica de Euler (2.12), considerando que se tiene una viga empotrada de un lado y apoyada de manera simple en el otro extremo.

$$P_r = \frac{\pi^2 * I * E}{L_e^2} \left\{ \begin{array}{l} I: \text{Inercia menor} \\ E: \text{Modulo de elasticidad} \\ Le: \text{Longitud efectiva; } Le = k * L \end{array} \right. \quad (2.12)$$

Se selecciono un tubo cuadrado de 25 mm de lado por 2 mm de espesor de acero estructural ofrecido por DIPAC [32]. Las características de este elemento se muestran a continuación en la Figura 2.16.



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	I cm <sup>3</sup>
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

Figura 2.16 Características del tubo cuadrado de acero estructural [31].

Como resultado se obtiene que la Inercia necesaria para la carga de 1140 N es la detallada en la ecuación (2.13).

$$I = \frac{1140N * (0.8 * 681.6 \times 10^{-3}m)^2}{\pi^2 * 200 \times 10^9 Pa} = 0.017 \text{ cm}^4 \quad (2.13)$$

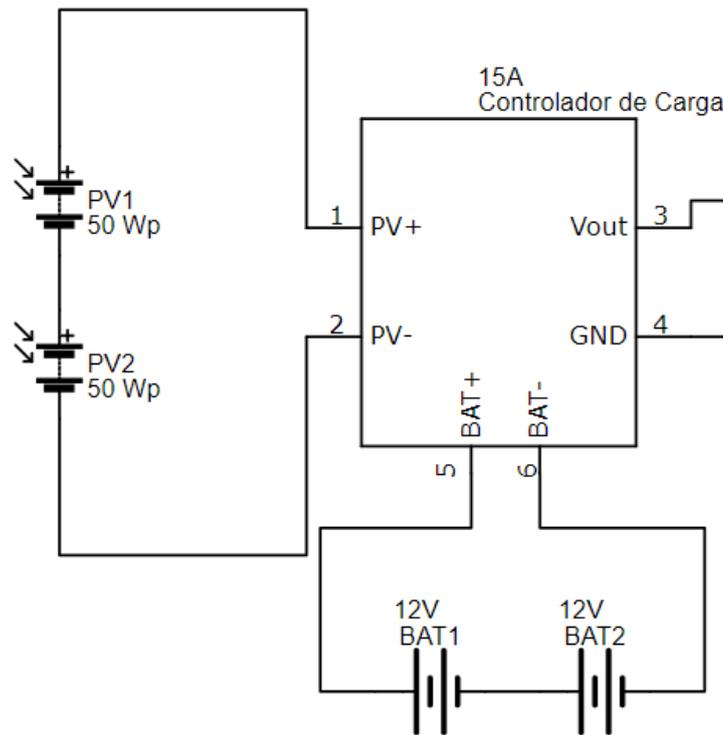
Concluyendo que el elemento seleccionado es capaz de soportar la carga sin inconveniente alguno debido a que su inercia es mayor a la necesaria. La estructura que sostiene a la herramienta será construida con el mismo material y los actuadores neumáticos serán utilizados con sus accesorios de montaje: brida basculante y acople de horquilla.

### 2.1.8.2 Diseño Electroneumático

Para realizar el diseño electrónico, se optó por utilizar como fuente de energía dos paneles solares de 50 Wp conectados en serie, junto a un Controlador de

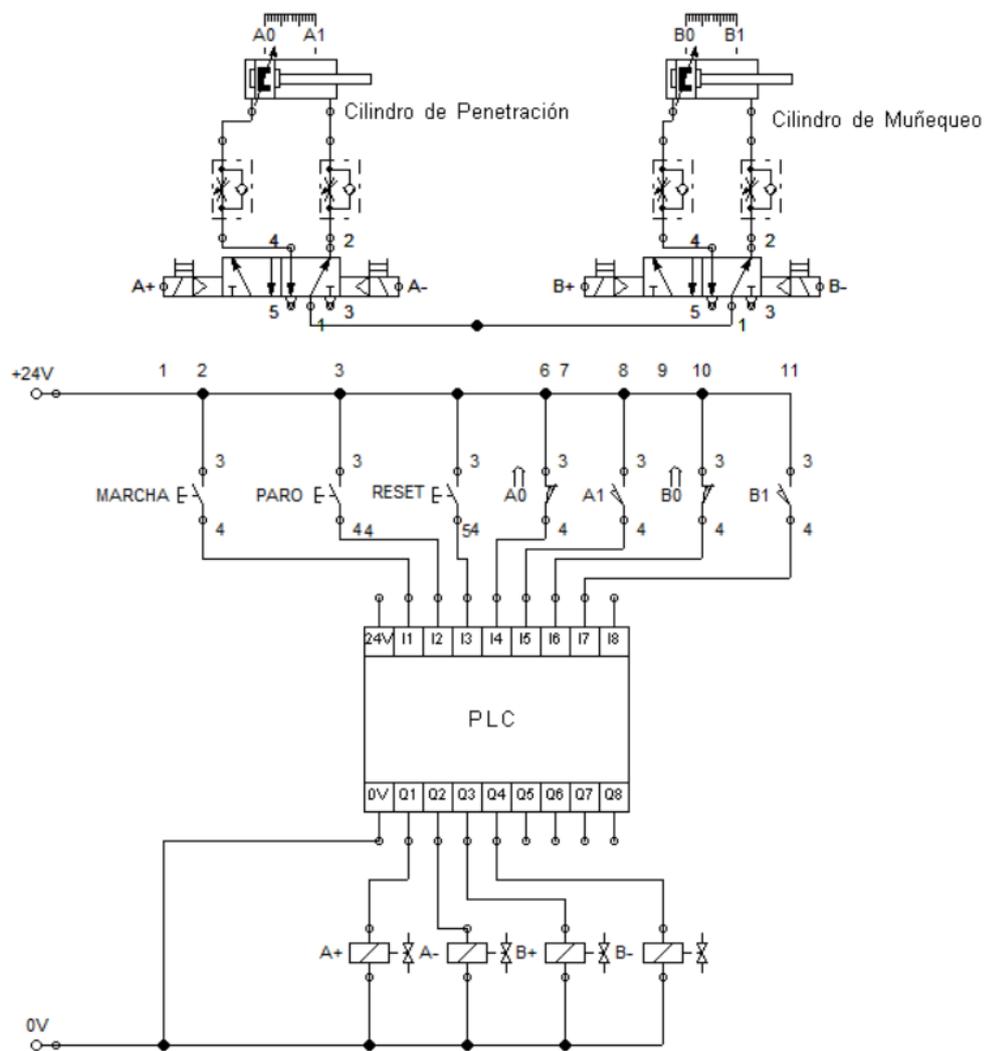
Carga de 15 A y dos baterías de 12 V y 7 Ah, de tal forma que exista energía eléctrica en todo momento de uso.

La salida del controlador de carga sirve como fuente de poder regulada, la cual se seleccionó para ser la encargada de proveer de 24 V a todo el circuito electroneumático, como se puede apreciar en la Figura 2.17.



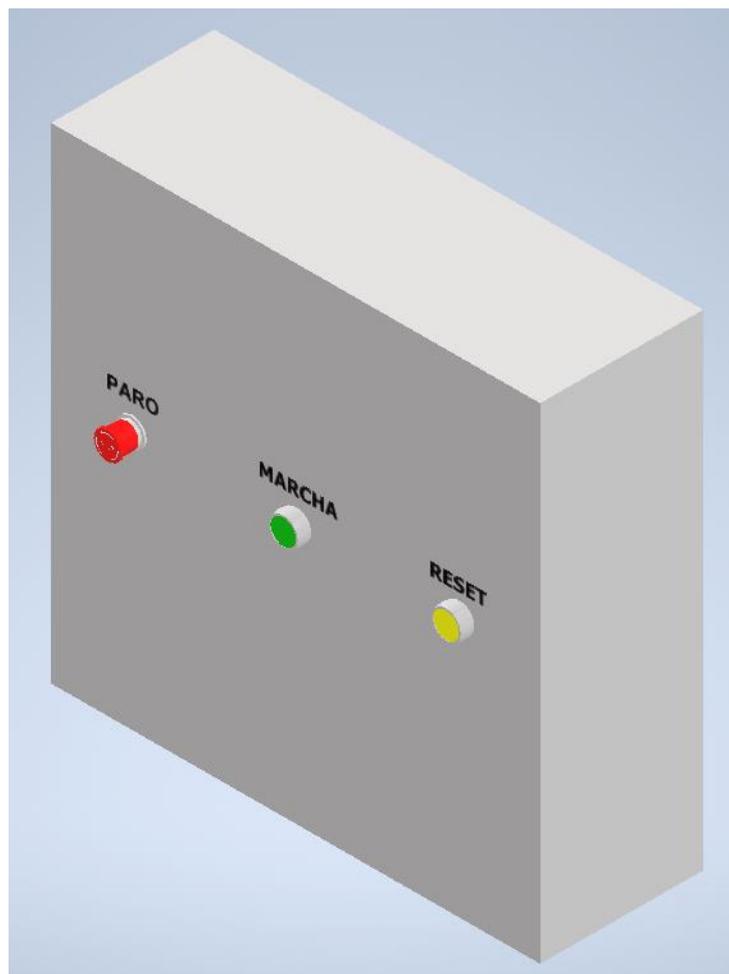
**Figura 2.17. Conexión de la fuente de poder del circuito electrónico**

Posteriormente a ello, se realiza el circuito electroneumático de la herramienta, utilizando electroválvulas y sensores inductivos para simplificar el proceso de trinchado, permitiendo que al accionar un botón se active o desactive la máquina, tal y como se aprecia en la Figura 2.18.



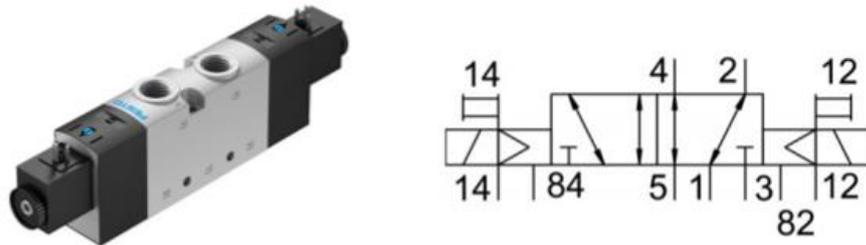
**Figura 2.18. Circuito Electroneumático de la herramienta de trinchado**

Dicho circuito electroneumático, se encuentra alojado en un tablero de distribución de 50x50, del que sobresalen los 3 botones de acción, correspondientes al paro, marcha y reset. Además, dentro del tablero se encuentran las baterías, el controlador de carga, el PLC y las conexiones eléctricas y neumáticas que permiten energizar la solución, dicho tablero se puede observar en la Figura 2.19.



**Figura 2.19. Tablero de distribución de la herramienta.**

Las electroválvulas fueron seleccionadas de acuerdo con los cilindros previamente elegidos, de tal manera que pudieran suministrar el caudal necesario para mover los cilindros, por lo que se escogió utilizar una válvula solenoide de 5 vías y 2 posiciones biestable VUVS-L30-B52-ZD-G38-F8-1C1 [33] para cada pistón, la cual aparece en la Figura 2.20.



**Figura 2.20. Válvula solenoide escogida junto a su respectivo diagrama.**

Para la selección del compresor, se optó por un compresor móvil, que permita un fácil acceso a la potencia en zonas rurales, para lo que se resolvió utilizar un compresor portátil de la marca Kaeser, el modelo M27 [34] el cual funciona a diésel, entrega el caudal de aire comprimido a la presión requerida para varias herramientas y se puede apreciar en la Figura 2.21.



**Figura 2.21. Compresor utilizado para la aplicación neumática [34].**

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Consumo eléctrico

El consumo eléctrico se calculó a partir del consumo individual de todos los aparatos electrónicos, los cuales fueron obtenidos de las fichas técnicas correspondientes, teniendo una lista de aparatos eléctricos compuesta por electroválvulas [35], sensores de proximidad [36], resistencias un controlador de carga [37] y un PLC [38]. Con estos datos, se procedió a crear la siguiente tabla:

**Tabla 3.1. Consumo de potencia eléctrica para la herramienta de trinchado**

Aparato	Cant.	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia U (W)	Potencia T. (W)
Electroválvula	4	24	0.1375	3.3	13.2
Sensor de Proximidad	4	24	0.1166	2.8	11.2
Resistencia	3	24	0.024	0.576	1.7
Controlador de Carga	1	24	0.0115	0.276	0.28
PLC	1	24	1.62	38.9	38.9
<b>TOTAL</b>					65.28

Una vez calculado el respectivo consumo, se determinó la autonomía de las baterías, para lo que se utilizó la ecuación (3.1).

$$E_{bat} = V_{bat} \times I_{bat} \times t_{bat} \quad (3.1)$$

$$E_{bat} = 24 [V] \times 7 [Ah] \quad (3.1.1)$$

$$E_{bat} = 168 Wh \quad (3.1.2)$$

Posteriormente, se tomó en cuenta 4 HSP para el cálculo de la energía que generan los paneles fotovoltaicos, como se aprecia en la ecuación (3.2).

$$E_{panel} = Wp_{panel} * HSP \quad (3.2)$$

$$E_{panel} = 100 [Wp] * 4 \quad (3.2.1)$$

$$E_{panel} = 400 Wh \quad (3.2.2)$$

Finalmente, para la energía consumida, se tomaron los datos de consumo de la Tabla 3.1, dentro de jornada 8 horas, en la que la herramienta se encuentre trabajando, como se aprecia en la ecuación (3.3)

$$E_{cons} = P_{cons} * t_{uso} \quad (3.3)$$

$$E_{cons} = 65.28 * 8 = 522.24 \text{ Wh} \quad (3.3.1)$$

Se observa que existe suficiente energía entre los paneles y las baterías para abastecer al consumo eléctrico de la herramienta, y brinda una autonomía que se calculó según la ecuación (3.5).

$$E_{gen} = E_{bat} + E_{pan} \quad (3.4)$$

$$E_{gen} = 168 \text{ [Wh]} + 400 \text{ [Wh]} \quad (3.4.1)$$

$$E_{gen} = 568 \text{ Wh} \quad (3.4.2)$$

Utilizando los valores de energía generada de la ecuación (3.4.2) y la potencia consumida de la Tabla 3.1, se calculó la autonomía de la solución en la ecuación (3.5).

$$Autonomía = \frac{E_{gen}}{P_{cons}} \quad (3.5)$$

$$Autonomía = \frac{568 \text{ [Wh]}}{65.28 \text{ [W]}} \quad (3.5.1)$$

$$Autonomía = 8.70 \text{ horas} \approx 8 \text{ horas y } 42 \text{ minutos} \quad (3.5.2)$$

### 3.2 Cantidad de herramientas por compresor

Para la cantidad de herramientas por compresor a utilizar, se consideró la velocidad de avance deseada y el caudal requerido para realizar dicho avance, para lo que, se fijaron los siguientes parámetros con los que se pudo definir, según el consumo de cada cilindro, cuál sería el consumo por ciclo de cada cilindro, como se puede apreciar en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2. Configuraciones de posicionamiento de los dos cilindros neumáticos**

Cilindro	Posicionamiento [s]	Consumo por ciclo [l]	Consumo por tiempo [l/min]
C500X80	4,00	35,49	265,91
C125X80	1,27	12,10	285,83

Una vez definido el consumo por tiempo, se seleccionó el mayor consumo de ambos, el cual es de 285.83 l/min, correspondiente al cilindro que debe realizar el muñequero, y luego de obtener la capacidad máxima del compresor en la ficha técnica, se obtuvo la cantidad de herramientas que pueden accionarse de manera simultánea en un solo compresor utilizando la ecuación (3.6).

$$n_{herramientas} = \frac{Q_{comp}}{Q_{cilindro}} \quad (3.6)$$

$$n_{herramientas} = \frac{2605.15 \left[ \frac{l}{min} \right]}{285.83 \left[ \frac{l}{min} \right]} \quad (3.6.1)$$

$$n_{herramientas} = 9.11 \text{ herramientas} \approx 9 \text{ herramientas} \quad (3.6.2)$$

### 3.3 Rendimiento de las herramientas

Para el rendimiento de las herramientas, una vez calculado el número de herramientas por compresor, se empleó como objeto de estudio una hacienda de 10 hectáreas, y se calculó el tiempo que toma la herramienta en realizar el ciclo completo.

Para ello, se considera como ciclo completo a la suma del tiempo de puesta a punto, que se definió como un tiempo promedio de 2 segundos, el tiempo de operación que se obtuvo de la suma correspondiente a realizar dos desplazamientos en ambos cilindros y el tiempo de movimiento de la herramienta, para lo cual se utilizó un estudio realizado por Guío F. y Poveda J. [39], el cual dice que la velocidad de caminata promedio de una persona de entre 25 y 65 años es de 1.28 m/s.

Con esta información, se calculó el tiempo promedio de desplazamiento entre plantación y plantación. Puesto que la distancia entre plantas es de un promedio de 3 metros, se realizaron los cálculos en la ecuación (3.7).

$$t_{desp} = \frac{d_{desp}}{v_{desp}} \quad (3.7)$$

$$t_{desp} = \frac{3 [m]}{1.28 \left[ \frac{m}{s} \right]} \quad (3.7.1)$$

$$t_{desp} = 2.35 s \quad (3.7.2)$$

Con el resultado obtenido en la ecuación (3.7.2), se sumaron todos los tiempos para obtener un total, como se refleja en la ecuación (3.8).

$$t_{total} = t_{pap} + t_{op} + t_{desp} \quad (3.8)$$

$$t_{total} = 2 [s] + 10.54 [s] + 2.35 [s] \quad (3.8.1)$$

$$t_{total} = 14.89 s \quad (3.8.2)$$

Con este resultado, se calculó el número de plantas que podrían ser trinchadas por cada herramienta conectada, tomando en cuenta que la jornada es de 8 horas, y el tiempo requerido para trincar una planta es de 14.89 s, como se puede apreciar en la ecuación (3.9).

$$n_{plantas} = \frac{t_{trabajo}}{t_{total}} \quad (3.9)$$

$$n_{plantas} = \frac{8 \left[ \frac{horas}{día} \right]}{14.89 \frac{\left[ \frac{s}{planta} \right]}{herramienta}} \times \frac{3600 [s]}{1 [hora]} \quad (3.9.1)$$

$$n_{plantas} = 1934 \frac{plantas}{día * herramienta} \quad (3.9.2)$$

$$n_{plantas_{total}} = 1934 \left[ \frac{plantas}{día * herramienta} \right] \times 9 [herramienta] \quad (3.9.3)$$

$$n_{plantas_{total}} = 17406 \frac{plantas}{día} \quad (3.9.4)$$

Para finalizar, se utilizó una densidad de siembra promedio, detallada en el estudio realizado por Tuarez G. y Cando C [40], el cual indica una densidad mínima de 890

plantas y una densidad máxima de 1681 plantas de banano por hectárea. Esto se traduce a una densidad promedio de 1286 plantas de banano empleada en los cálculos de la ecuación (3.10).

$$n_{plantas_{ha}} = \frac{1286 [plantas]}{[ha]} * 10 [ha] \quad (3.10)$$

$$n_{plantas_{ha}} = 12860 plantas \quad (3.10.1)$$

Una vez obtenido el número de plantas por hectárea, en la ecuación (3.11) se calculó el tiempo que le tomaría al sistema de herramientas trabajar en toda la hacienda.

$$t = \frac{n_{plantas_{ha}}}{n_{plantas_{total}}} \quad (3.11)$$

$$t = \frac{12860 [plantas]}{17406 \left[ \frac{plantas}{día} \right]} \quad (3.11.1)$$

$$t = 0.74 días \approx 5 horas y 54 minutos \quad (3.11.2)$$

### 3.4 Eficiencia del proceso

Teniendo en cuenta el rendimiento que tiene el sistema de herramientas, se utilizó se determinó el aumento de eficiencia del proceso respecto a las alternativas actuales: mano de obra, y el uso de una mini retroexcavadora.

Para el caso de la mano de obra, el tiempo promedio para trincar una hacienda de características similares a la calculada en la sección 3.3, es de aproximadamente 5 días, por lo que la eficiencia quedaría según la ecuación (3.12)

$$n = \frac{t_{nueva}}{t_{actual}} \quad (3.12)$$

$$n = \frac{5 [días]}{0.74 [días]} \quad (3.12.1)$$

$$n = 6.8 veces más eficiente \quad (3.12.2)$$

Por otro lado, el utilizar maquinaria hidráulica tiene un tiempo de trinchado mucho menor al de la mano de obra humana, tomándose un tiempo promedio de dos días para poder realizar la misma tarea, por lo que la eficiencia relativa a este proceso queda como se aprecia en la ecuación (3.13).

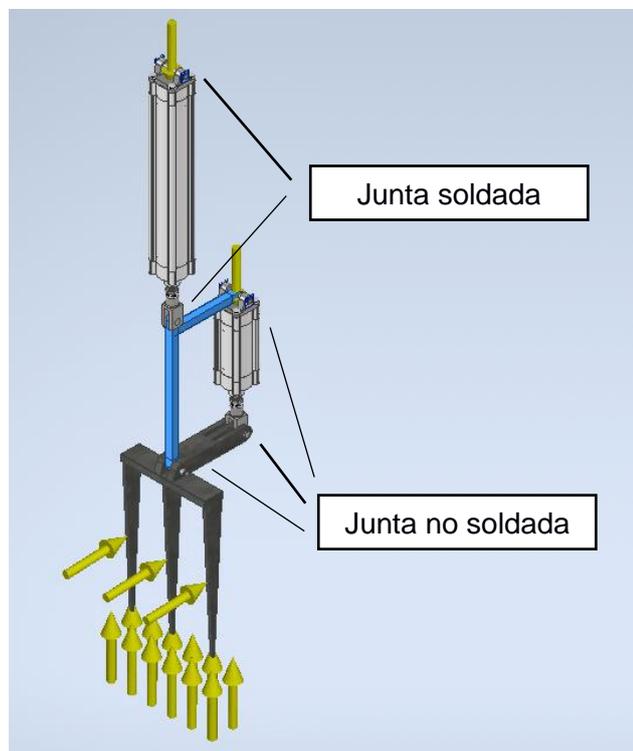
$$n = \frac{t_{nueva}}{t_{actual}} \quad (3.13)$$

$$n = \frac{2 \text{ [días]}}{0.74 \text{ [días]}} \quad (3.13.1)$$

$$n_{\%} = 2.7 \text{ veces más eficiente} \quad (3.13.2)$$

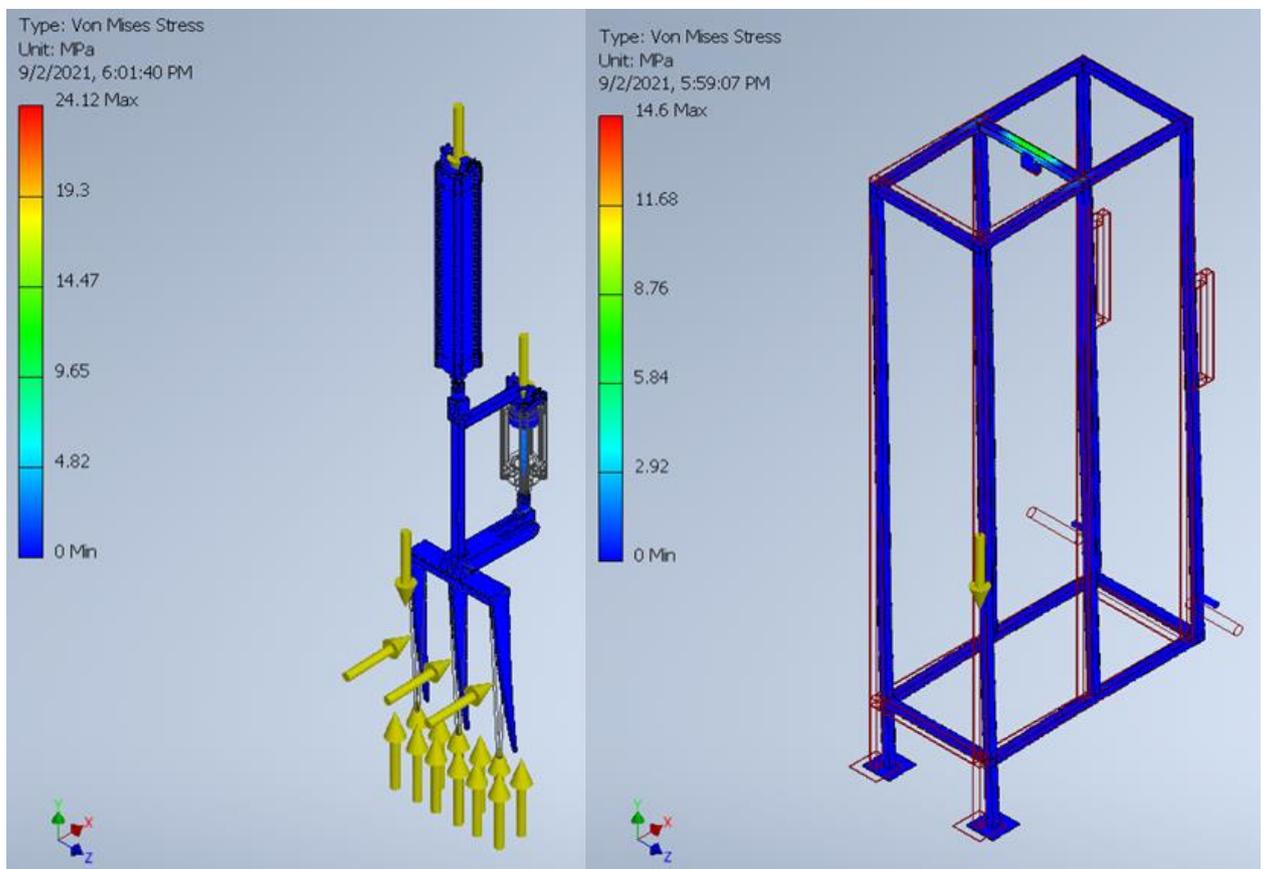
### 3.5 Análisis dinámico

El análisis dinámico fue realizado gracias a una herramienta de diseño y simulación en 3D. Se presenta la disposición de las cargas en la Figura 3.1, en donde las juntas son soldadas a excepción de las ubicadas en el tridente debido a su necesidad de rotar para realizar el muñequo.



**Figura 3.1 Disposición de cargas en herramienta**

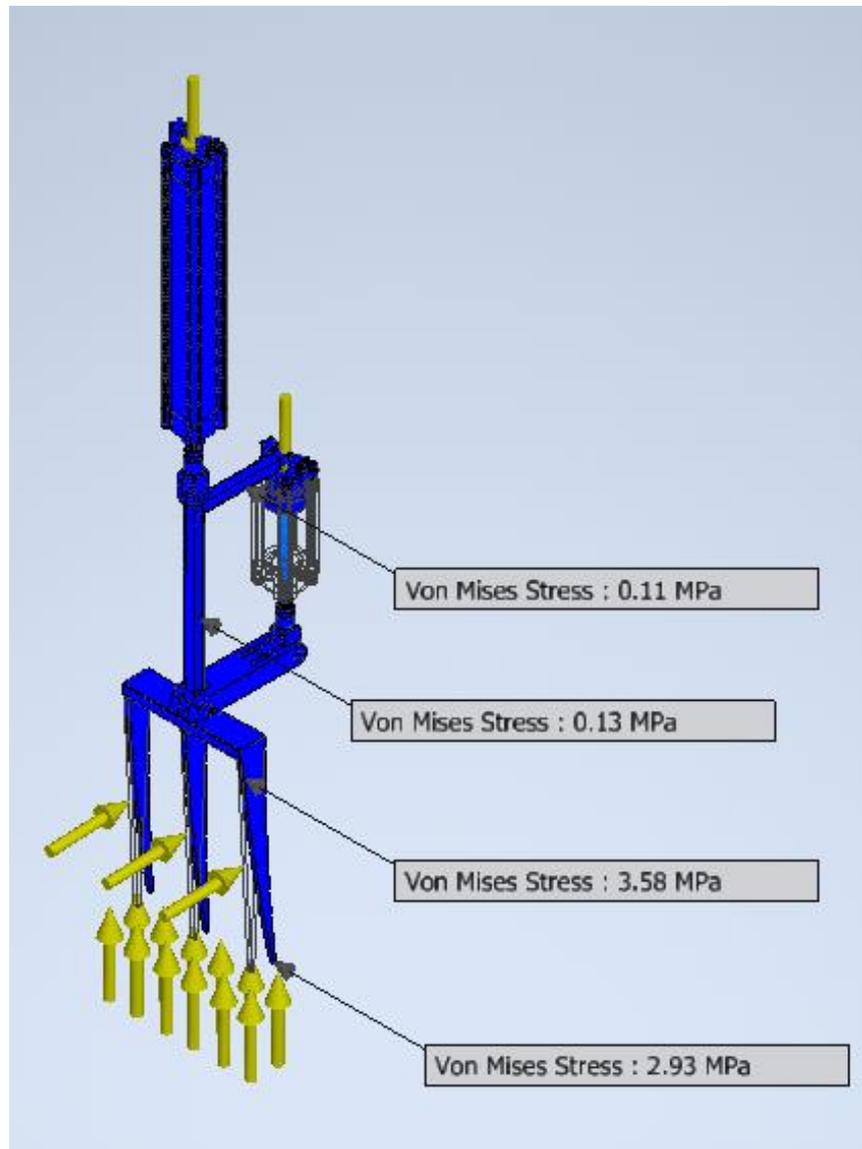
Como se puede observar, se han ubicado las cargas en la herramienta. En la parte inferior se estableció la carga generada por la resistencia a la penetración del terreno que fue obtenida del estudio mencionado anteriormente en este capítulo. Por otro lado, en las garras se posiciona la fuerza que resulta de desplazar el volumen tierra que se encuentra en la trayectoria que recorre garra girar aproximadamente 30 grados, o muñequero. Las fuerzas proporcionadas por el sistema neumático están ubicadas en el embolo de cada cilindro, ambos con 80 milímetros de diámetro que proporcionan, según la ficha técnica, 3076 N a 6 bar de presión de aire. Al simular este sistema se generan los esfuerzos que se aprecian en la Figura 3.2.



**Figura 3.2 Esfuerzo de Von Mises**

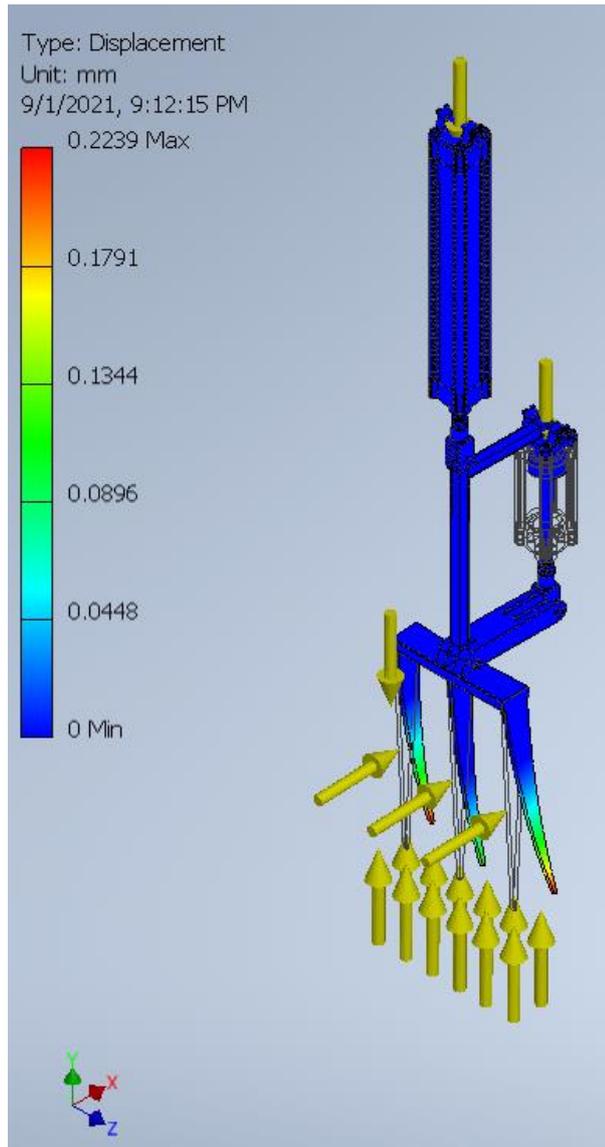
Se puede observar que el esfuerzo máximo generado es de 24.12 MPa ubicado en las puntas de las garras, mientras que, en la estructura es de 14.6 MPa en la junta que soporta la herramienta. Estos esfuerzos son mucho menores que el que proporciona el material por sus propiedades mecánicas. Por lo tanto, el análisis de esfuerzos obtenidos por la simulación muestra que la herramienta no se encuentra

amenazada por las cargas que comprenden realizar esta actividad. Adicionalmente, en la siguiente figura se muestran los valores de esfuerzos de 4 puntos donde se puede afirmar que el diseño soporta las cargas que implica realizar la tarea de trinchado del suelo, así como se muestra en la Figura 3.3.



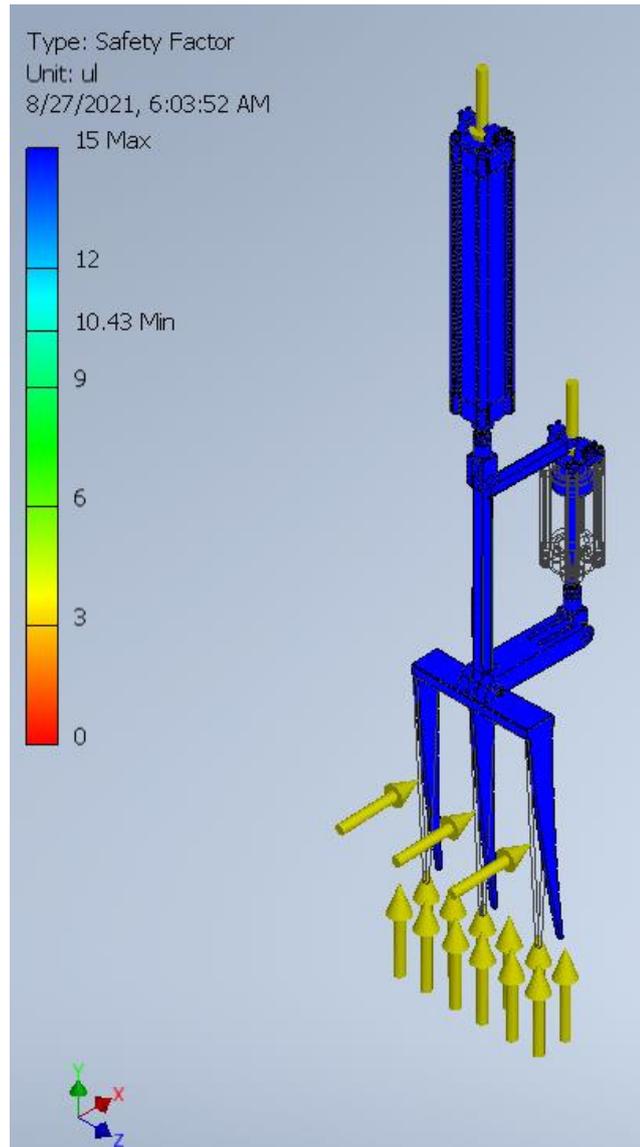
**Figura 3.3 Analisis de esfuerzos**

Adicionalmente, basándose en dicho análisis de esfuerzos, se simuló la deformación de la herramienta, de tal forma que se pueda observar el desplazamiento máximo al que la herramienta va a ser sometida durante su vida útil, mismo que se puede apreciar en la Figura 3.4.



**Figura 3.4. Deformación de la herramienta**

Por último, el factor de seguridad que resulta de la simulación se puede observar en la Figura 3.5, poseyendo un valor entre 10.43 a 15.



**Figura 3.5 Factor de seguridad**

### **3.6 Análisis de costos**

Este proyecto se estableció mediante un modelo de negocios de venta/alquiler de productos, para lo que fue necesario realizar un análisis del coste de implementación de la solución, incluyendo gastos de instalación y puesta en marcha del sistema, lo que se puede apreciar en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3. Cotización de Sistema de Herramientas para Trinchado**

<b>Componentes Electroneumáticos</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
1	Compresor 21,2 HP	U	1	\$ 17.527,88	\$ 17.527,88
2	Electroválvulas 24 V	U	18	\$ 312,33	\$ 5.621,94
3	Cilindro Neumático 500 mm Carrera (accesorios de montaje incluidos)	U	9	\$ 505,18	\$ 4.546,62
4	Cilindro Neumático 125 mm Carrera (accesorios de montaje incluidos)	U	9	\$ 432,63	\$ 3.893,67
5	Instalación Y Puesta En Marcha	U	1	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00
6	Controlador Lógico Programable (PLC)	U	9	\$ 221,00	\$ 1.989,00
7	Sensor De Proximidad 24 V	U	36	\$ 47,39	\$ 1.706,04
8	Manguera Para Aire 12 mm	ML	500	\$ 3,35	\$ 1.675,00
9	Panel Solar Monocristalino 50 Wp	U	18	\$ 30,00	\$ 540,00
10	Controlador De Carga Solar 15 A	U	9	\$ 50,00	\$ 450,00
11	Baterías 12 VDC 7 Ah	U	18	\$ 15,00	\$ 270,00
12	Botón Tipo Hongo	U	27	\$ 4,00	\$ 108,00
13	Cable PV	ML	20	\$ 2,25	\$ 45,00
14	Acoples Neumáticos Rectos	U	12	\$ 2,50	\$ 30,00
15	Acoples Neumáticos En T	U	10	\$ 2,75	\$ 27,50
16	Cable Gemelo 2x18	ML	20	\$ 0,45	\$ 9,00
<b>Subtotal Electroneumático</b>					\$ 40.939,65
<b>Componentes Mecánicos</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
1	Tubo estructural galvanizado cuadrado 25x2mm	U	45	\$ 15,00	\$ 675,00
2	Tubo estructural galvanizado 20x2mm	U	1	\$ 30,00	\$ 30,00
3	Soldadura E6011 1/8	kg	10	\$ 6,00	\$ 60,00
4	Plancha 2440x1220x10mm	U	1	\$ 200,00	\$ 200,00
5	Mano de obra	U	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
6	Llantas R16 x 3 40	U	2	\$ 250,00	\$ 500,00
7	Disco para pulir 4" 1/2	U	10	\$ 2,00	\$ 20,00
8	Disco de corte 14"	U	10	\$ 12,00	\$ 120,00
<b>Subtotal Mecánico</b>					\$ 3.605,00
<b>SUBTOTAL</b>					\$ 44.544,65
<b>IVA</b>					\$ 5.345,36
<b>TOTAL</b>					\$ 49.890,01

Dicho precio, incluye los materiales, mano de obra, instalación y puesta en marcha de todo el sistema de herramientas que comprende un conjunto de 9 herramientas para utilizar simultáneamente.

Una vez definido ese valor, se utilizaron los datos obtenidos de la calidad del banano cosechado en un suelo sin tratamiento y con el proceso de trinchado

realizado [41], para poder establecer un retorno sobre la inversión (ROI). Considerando el precio de una la caja de banano, el cual ronda los \$6.90 [42], permitió establecer un punto de partida sobre las ganancias de una hacienda que no realice el trinchado, como se puede apreciar en la ecuación (3.14).

$$Ingresos_{racimo} = n_{cajas} \times precio_{caja} \quad (3.14)$$

$$Ingresos_{racimo} = 1.1 \left[ \frac{caja}{racimo} \right] \times 6.90 \left[ \frac{\$}{caja} \right] \quad (3.14.1)$$

$$Ingresos = 7.59 \left[ \frac{\$}{racimo} \right] \quad (3.14.2)$$

Posteriormente a ello, se utiliza una estimación del valor retornado en caso de realizar el trinchado, lo cual al descompactar el suelo contribuye a la cantidad de fruto que puede conformar una caja, brindando los siguientes resultados en la ecuación (3.15).

$$Ingresos_{racimo} = n_{cajas} \times precio_{caja} \quad (3.15)$$

$$Ingresos_{racimo} = 1.5 \left[ \frac{caja}{racimo} \right] \times 6.90 \left[ \frac{\$}{caja} \right] \quad (3.15.1)$$

$$Ingresos = 10.35 \left[ \frac{\$}{racimo} \right] \quad (3.15.2)$$

Con ello se calculó la ganancia neta del proceso de trinchado, utilizando los valores de los ingresos previamente calculados utilizando la ecuación (3.16)

$$Ganancia = Ingresos_{trichado} - Ingresos_{sin trinchar} \quad (3.16)$$

$$Ganancia = \$ 10.35 - \$ 7.59 \quad (3.16.1)$$

$$Ganancia = \$ 2.76 \text{ por racimo} \quad (3.16.2)$$

Finalmente se calculó el ROI en función del número de racimos de banano necesarios para lograr recuperar el total de la inversión, para lo cual se utilizó la ecuación (3.17).

$$ROI = \frac{Inversión}{Ganancia} \quad (3.17)$$

$$ROI = \frac{49.890,01 [\text{\$}]}{2.76 \left[ \frac{\text{\$}}{\text{racimo}} \right]} \quad (3.17.1)$$

$$ROI = 18076.09 \text{ racimos de banano} \approx 18077 \text{ racimos de banano} \quad (3.17.2)$$

Tomando la información del número de cajas que rinden por banano trinchado y el número de racimos de banano necesarios para el retorno de la inversión, calculado de la ecuación (3.17.2), se puede también obtener el número de cajas de banano necesarias para alcanzar un retorno de la inversión, esto mediante la ecuación (3.18).

$$n_{cajas} = n_{racimos} * ratio \quad (3.18)$$

$$n_{cajas} = 18077 [\text{racimos de banano}] * 1.5 \left[ \frac{\text{cajas}}{\text{racimos de banano}} \right] \quad (3.18.1)$$

$$n_{cajas} = 27115.50 \text{ cajas de banano} \approx 27116 \text{ cajas de banano} \quad (3.18.2)$$

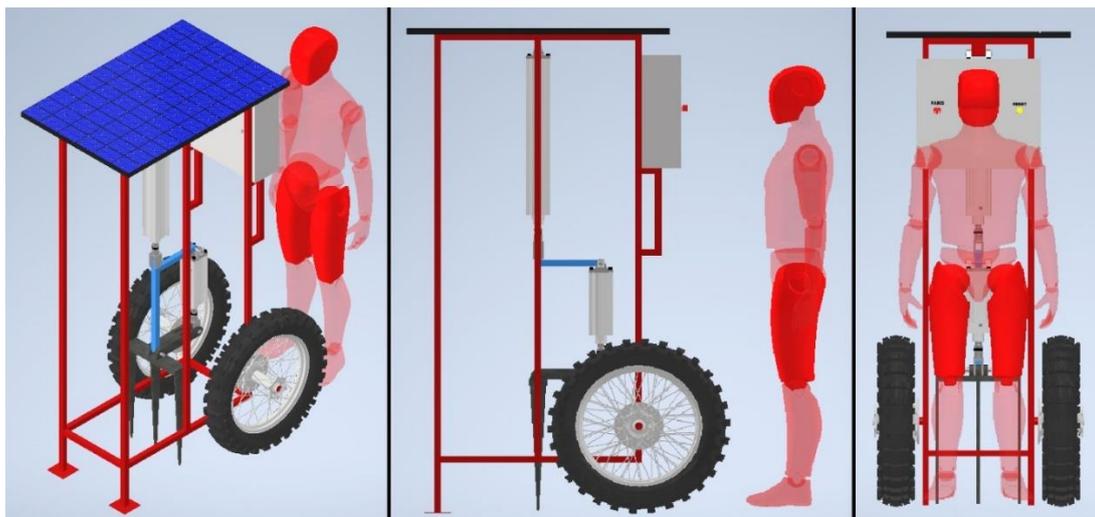
Además, se realizó el cálculo de cuántas hectáreas se deben cosechar para poder recuperar la inversión, a partir del número de racimos de banano necesarios, de la ecuación (3.17.2) y la densidad de sembrío por hectárea [40] mediante la ecuación (3.19).

$$n_{hectáreas} = \frac{n_{racimos}}{n_{plantas_{ha}}} \quad (3.19)$$

$$n_{hectáreas} = \frac{18077 [\text{racimos}]}{1286 \left[ \frac{\text{racimos}}{\text{hectárea}} \right]} \quad (3.19.1)$$

$$n_{hectáreas} = 14.05 \text{ hectáreas cosechadas} \approx 15 \text{ hectáreas cosechadas} \quad (3.19.2)$$

El resultado de este diseño se muestra en la siguiente figura con todos sus elementos montados, para lo que se utilizó elementos de sujeción para los cilindros, tablero y paneles; soldadura para asegurar la herramienta y estructura; y dos llantas de R16 de motocicleta con labrado todo terreno para el transporte. Además, se colocó un maniquí de aproximadamente 1.70 metros de altura como referencia con la finalidad de simular la presencia del operador.



**Figura 3.6. Diseño final de la máquina, se aprecia el ensamblado junto a un operador**

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Se logró diseñar una herramienta portable, no invasiva y altamente eficiente, que permite realizar el mismo trabajo que las soluciones actualmente ofrecidas en el mercado, en mucho menos tiempo, lo cual beneficia al cliente a corto y largo plazo debido a su rápido retorno de inversión, de 27116 cajas de banano, lo que significaría cosechar 15 hectáreas.

Por otro lado, al ser una herramienta ligera, se evita el problema de la invasividad de otras soluciones, lo cual junto con su portabilidad permiten aumentar la eficiencia del proceso en 2.7 veces, sin tener afectaciones a la infraestructura de la hacienda.

Además, al ser neumático en caso de algún error o fuga dentro del circuito, no generaría un problema a la hacienda, a diferencia de otras soluciones contaminantes como las hidráulicas que usan aceites. Así también, la herramienta se diseñó con una operación simple debido a la automatización, que le permitirá realizar todo el proceso de trinchado al accionar un botón.

Por otro lado, una vez realizada la simulación, el diseño mecánico presenta un factor de seguridad de más de 15 y una deformación máxima de 0.23 milímetros presentada en las garras de la herramienta, indicando un correcto diseño mecánico que garantice la durabilidad de la herramienta, así como la seguridad del operador, ya que además para mejorar la seguridad se implementó un botón de paro, el cual detiene el avance de la herramienta.

La solución cuenta con una alta escalabilidad debido a que su limitante en cuanto al número de herramientas que pueden operar de manera simultánea, se debe a la capacidad del compresor, por lo que, puede ser adaptado para haciendas de distintas dimensiones, volviéndose una solución universal para la problemática propuesta.

Una vez analizados los factores previamente descritos, se evidencia que la solución diseñada cumple las necesidades previamente planteadas, y sobresale

satisfactoriamente con respecto a otras soluciones, lo que lo vuelven una solución altamente viable de implementar en la agricultura.

## **4.2 Recomendaciones**

Al ser una solución neumática, factores como la presión y el caudal son muy importantes al momento de elegir el número de herramientas, la solución planteada cumple con las capacidades del compresor, sin embargo, mantiene el compresor con una carga del 97% en todo momento, por lo que, para disminuir la cantidad de mantenimientos y los costes relacionados al compresor, es recomendable utilizar dos herramientas menos, con el fin de extender la vida útil de éste.

Además, la velocidad de avance y retroceso de los cilindros depende del caudal, éste va a aumentar al utilizar menos herramientas, y a disminuir al utilizar más, por lo que, dependiendo del número de operadores, y el tamaño de la hacienda, el número de herramientas puede variar, lo que permitirá también modificar los tiempos de trinchados y a su vez el número de plantas por hora que se podrán trincar.

En caso de ser una hacienda de gran tamaño, considerar un sistema de tuberías de aire, junto a un compresor de mayor capacidad y un depósito, de tal forma que la solución sea escalable a las necesidades del cliente final.

Finalmente, a pesar de que los fabricantes indican que el mantenimiento se realice previa inspección visual, es recomendable realizar mantenimientos preventivos en el compresor, mangueras y acoples cada año, para garantizar la máxima eficiencia de los equipos y evitar que estos sean deteriorados al punto de llegar a dañarse.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Gutierrez y S. Jacobo, "Análisis comparativo de las exportaciones bananeras del Ecuador: primer semestre 2019 vs primer semestre 2020", 2021, Consultado: jul. 11, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16603>
- [2] Ministerio de Comercio Exterior, "Informe sector bananero ecuatoriano". 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Informe-sector-bananero-espa%C3%B1ol-04dic17.pdf>
- [3] E. Chinchilla, "ESTUDIO DEL PROCESO DE TRABAJO Y OPERACIONES, PERFIL DE RIESGOS Y EXIGENCIAS LABORALES EN EL CULTIVO Y EMPAQUE DEL BANANO", p. 72, 2004.
- [4] E. O. Gia Gomez, "Formas de herculizado en el cultivo de banano". 2014. [En línea]. Disponible en: [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1068/7/CD320\\_TESIS.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1068/7/CD320_TESIS.pdf)
- [5] M. M. Bustamante Leon, "Efecto de mejoradores físico y químico de la compactación en suelos bananeros, bajo sistema de riego presurizados". 2016. [En línea]. Disponible en: [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7647/1/DE00038\\_TRABAJODE TITULACION.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7647/1/DE00038_TRABAJODE TITULACION.pdf)
- [6] Cesar G. Cando Tuarez, "Efectos del trinchado de raíces de banano (Musa AAA) sobre la masa radical y la densidad poblacional de nemátodos". 2019. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6137/TE-UTB-FACIAGING%20AGRON-000190.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [7] "archivopub.pdf". Consultado: sep. 01, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=CNTSP722ZI4569&id=4569>
- [8] El Universo, "Cómo recuperar bananeras", 2008. Consultado: jul. 11, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/2008/04/19/0001/71/E8883AD734C14CDA924EC4CE963E75D8.html/>
- [9] J. Cajas-Guijarro y B. Pérez-Almeida, "Comercio, sobreexplotación laboral y ciclos en la periferia: una propuesta teórica y el caso ecuatoriano desde un modelo PVAR", *Rev. Metod. Cuantitativos Para Econ. Empresa*, vol. 31, pp. 161–197, jun. 2021, doi: 10.46661/revmetodoscuanteconempresa.3731.
- [10] C. Mecías y J. Karina, "Respuesta del cultivo de rosas (Rosa sp.) a nueve sistemas de oxigenación de suelos evaluados en la variedad ANNA. Machachi - Pichincha.", 2014, Consultado: jul. 11, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2529>
- [11] Cesar G. Cando Tuarez, "Efectos del trinchado de raíces de banano (Musa AAA) sobre la masa radical y la densidad poblacional de nemátodos". 2019. [En línea].

Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6137/TE-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000190.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- [12] R. April y D. Keller, "Mineralogy of the rhizosphere in forest soils of the eastern United States", *Biogeochemistry*, vol. 9, núm. 1, pp. 1–18, ene. 1990, doi: 10.1007/BF00002714.
- [13] J. P. Pineda, M. de J. M. Roblero, M. T. B. C. León, y J. S. Castellanos, "El oxígeno en la zona radical y su efecto en las plantas", *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, vol. 11, núm. 4, pp. 931–943, 2020.
- [14] S. M. Cruz, J. M. L. Aguirre, J. M. E. Félix, y S. M. S. Torres, "Factores bióticos y abióticos que influyen en la aclimatación de las vitroplantas en invernadero", *Dominio Las Cienc.*, vol. 2, núm. Extra 2, pp. 63–89, 2016.
- [15] "11\_Alin STĂNCIOIU - THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION „INDUSTRY 4.0".pdf". Consultado: ago. 03, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://www.utgjiu.ro/rev\\_mec/mecanica/pdf/2017-01/11\\_Alin%20ST%C4%82NCIOIU%20-%20THE%20FOURTH%20INDUSTRIAL%20REVOLUTION%20%E2%80%9EINDUSTRY%204.0%E2%80%9D.pdf](https://www.utgjiu.ro/rev_mec/mecanica/pdf/2017-01/11_Alin%20ST%C4%82NCIOIU%20-%20THE%20FOURTH%20INDUSTRIAL%20REVOLUTION%20%E2%80%9EINDUSTRY%204.0%E2%80%9D.pdf)
- [16] A. Creus Solé, *Neumática e hidráulica*. Barcelona: Marcombo, 2008. Consultado: ago. 24, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://site.ebrary.com/id/10212428>
- [17] "What is a PLC. Who uses them and what for? Learn how to program!" <http://www.machine-information-systems.com/PLC.html> (consultado ago. 24, 2021).
- [18] "Inventor Software | Get Prices & Buy Official Inventor 2022 | Autodesk". <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview> (consultado ago. 24, 2021).
- [19] "Programa AutoCAD | Comprar AutoCAD 2022 oficial y consultar precios". <https://latinoamerica.autodesk.com/products/autocad/overview> (consultado ago. 24, 2021).
- [20] "FluidSIM® 6 - FluidSIM - Aprendizaje digital - Productos - Festo Didactic". <https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/aprendizaje-digital/fluidsim/fluidsim-6.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4LjU5MS4xMDMzNzc> (consultado ago. 24, 2021).
- [21] "LOGO! Software", *siemens.com Global Website*. <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-software.html> (consultado ago. 24, 2021).
- [22] R. L. Norton, *Diseño de maquinaria*. 2016. Consultado: ago. 04, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://10.22.1.21:8080/jspui/handle/123456789/3234>
- [23] N. Cross, *Engineering design methods: strategies for product design*, 3rd ed. Chichester ; New York: Wiley, 2000.

- [24] G. Ventura y R. Jiménez, “Evaluación de sistemas de siembra y distancias entre plantas en la producción orgánica de banano (*Musa AAA*)”, *Inst. Dominic. Investig. Agropecu. For. IDIAF St. Domingo Repúb. Dominic. Abril 2004*, p. 49, 2004.
- [25] Bellota Agrisolutions, “CONFIGURACIÓN DE SEMBRADORAS DE DISCO”, *Bellota Agrisolutions*.  
<https://www.bellotaagrisolutions.com/es/preguntanos/configuracion-de-sembradoras-de-disco> (consultado ago. 04, 2021).
- [26] A. Villazón-Gómez, G. Martín-Gutiérrez, y Y. Cobo-Vidal, “Relación entre la humedad gravimétrica y la resistencia a la penetración en un Vertisol Crómico”, *Rev. Ing. Agríc.*, vol. 9, núm. 1, Art. núm. 1, ene. 2019, Consultado: ago. 12, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1043>
- [27] I. D. N. Espinoza, M. D. C. Zenteno, J. E. C. Chavez, V. N. Moreiral, K. E. A. Solarte, y F. L. M. Intriago, “Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador”, *Temas Agrar.*, vol. 23, núm. 2, Art. núm. 2, jun. 2018, doi: 10.21897/rta.v23i2.1301.
- [28] “Planchas Antiabrasivas”, *Dipac Manta S.A.* <http://www.dipacmanta.com/plancha-antiabrasiva> (consultado jul. 28, 2021).
- [29] A01 Committee, “Specification for Carbon Structural Steel”, ASTM International. doi: 10.1520/A0036\_A0036M-19.
- [30] “ISO cylinder DSBC-80-500-PPSA-N3.pdf”. Consultado: ago. 13, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.festo.com/tw/en/a/download-document/datasheet/1383377>
- [31] “ISO cylinder DSBC-80-125-PPSA-N3.pdf”. Consultado: ago. 13, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.festo.com/us/en/a/download-document/datasheet/1383371>
- [32] “Tubo Estructural Cuadrado Galvanizado”, *Dipac Manta S.A.* <http://www.dipacmanta.com/tubo-estructural-cuadrado-galvanizado> (consultado ago. 27, 2021).
- [33] “Solenoid valve VUVS-L30-B52-ZD-G38-F8-1C1.pdf”. Consultado: ago. 13, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.festo.com/tw/en/a/download-document/datasheet/575612>
- [34] “Kaeser M27 Datasheet”. Consultado: ago. 13, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.kaeser.com/int-en/download.ashx?id=tcm:17-5776>
- [35] “Solenoid valve VUVS-L30-B52-ZD-G38-F8-1C1”, p. 2.
- [36] “Proximity sensor SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M8D”, p. 2.
- [37] “Tracer-BP-SMS-EL-V2.0.pdf”. Consultado: ago. 19, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.epsolarpv.com/upload/file/1812/Tracer-BP-SMS-EL-V2.0.pdf>

- [38] “CPU Siemens LOGO! 12/24RCE con display - 6ED1052-1MD08-0BA1 V8.3”, *SIEMENSLOGO.com*. <https://siemenslogo.com/cpus-con-pantalla-siemens-logo-8-con-display/20-siemens-logo-1224-rce-con-display-6ed1052-1md08-0ba0-4034106031046.html> (consultado ago. 19, 2021).
- [39] F. A. G. Burgos y J. C. P. D’Otero, “Variables microscópicas en la velocidad de caminata”, *Estud. Transp.*, vol. 19, núm. 2, Art. núm. 2, sep. 2015, Consultado: ago. 23, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.estudiosdetransporte.org/sochitran/article/view/169>
- [40] C. Tuarez y C. Gabriel, “Efectos del trinchado de raíces de banano (Musa AAA) sobre la masa radical y la densidad poblacional de nemátodos’.”, 2019, Consultado: jul. 11, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6137>
- [41] E. O. G. Gómez, “FORMAS DE HERCULIZADO EN EL CULTIVO DE BANANO”, p. 52, 2014.
- [42] “Banano inicia el 2021 con nuevo esquema de precios que plantea dos opciones”, *El Universo*, dic. 31, 2020. <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/12/30/nota/9107161/precio-banano-2021-625-ecuador-exportaciones> (consultado ago. 30, 2021).

# APÉNDICES

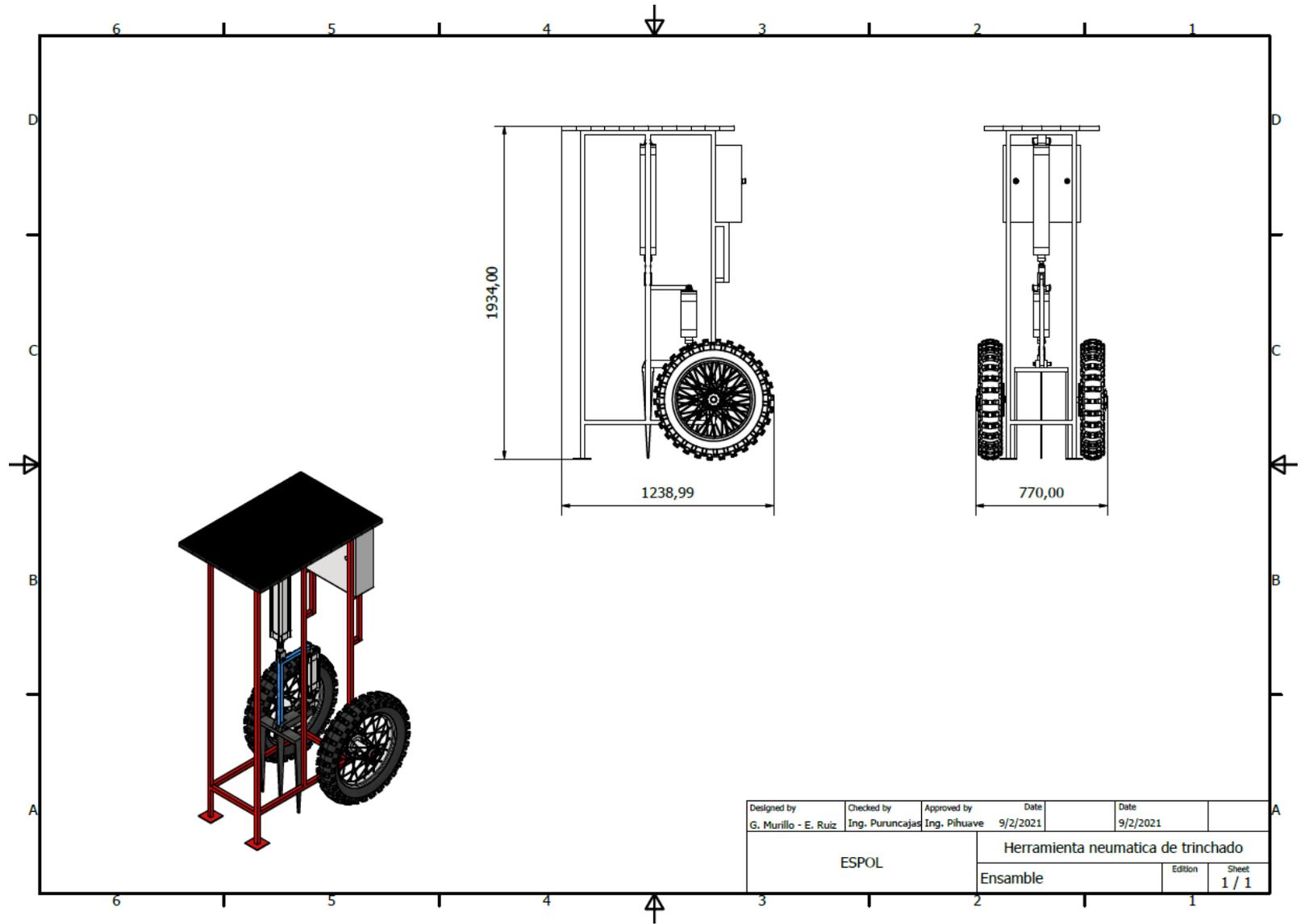
# APÉNDICE A

## PLANOS

En esta sección se presentan todos los planos utilizados para el diseño de la solución, además de descripciones y explicaciones de los planos que permitan mejorar la comprensión de los pasos llevados a cabo para el diseño de la herramienta.

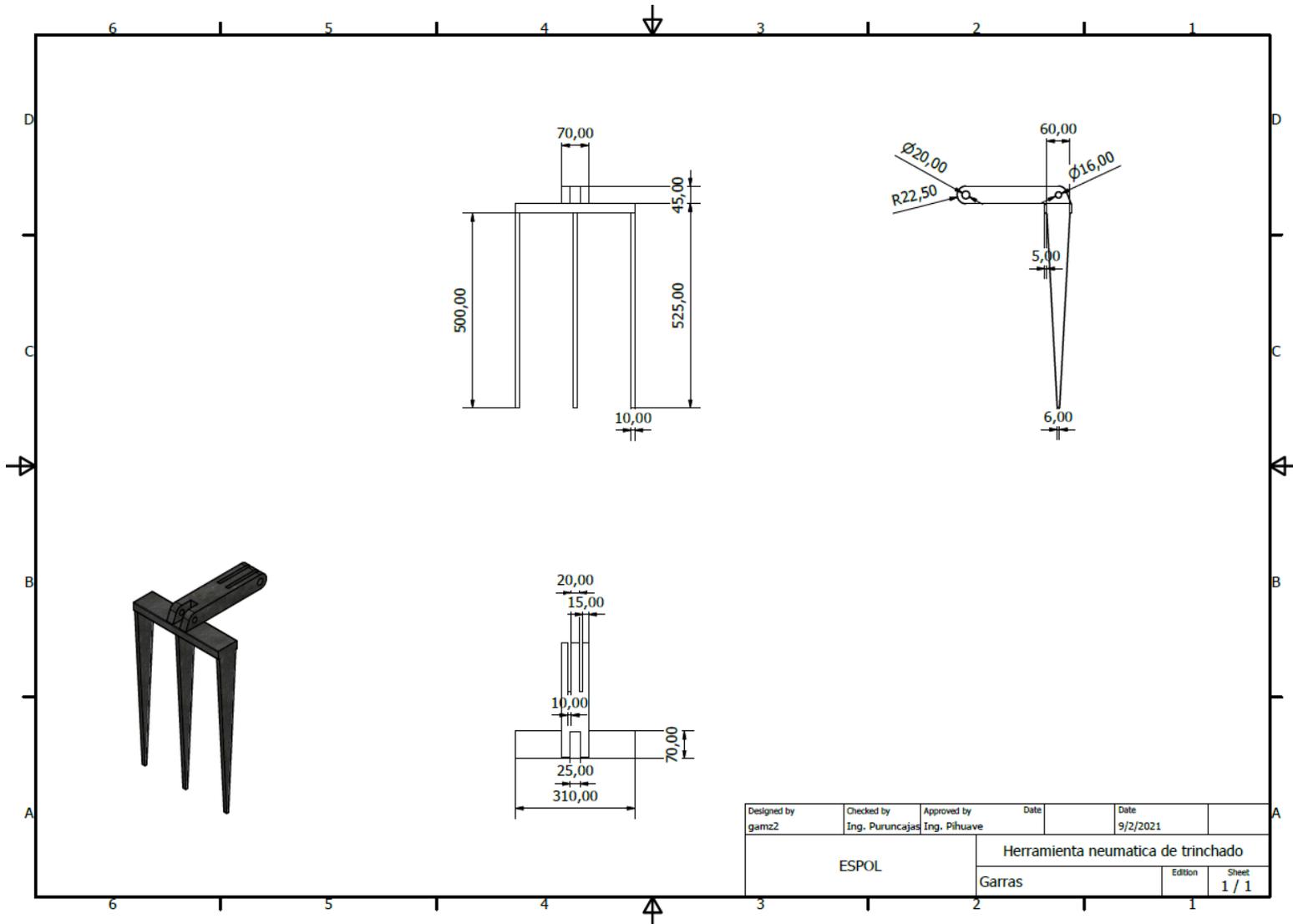
### **A.1 Herramienta neumática de trinchado**

La herramienta neumática se muestra en el plano debajo, donde se pueden apreciar vistas laterales e isométricas en el plano A.1 donde se muestran sus dimensiones principales, mientras que, en los planos siguientes se exponen los planos de los elementos mecánicos diseñados.

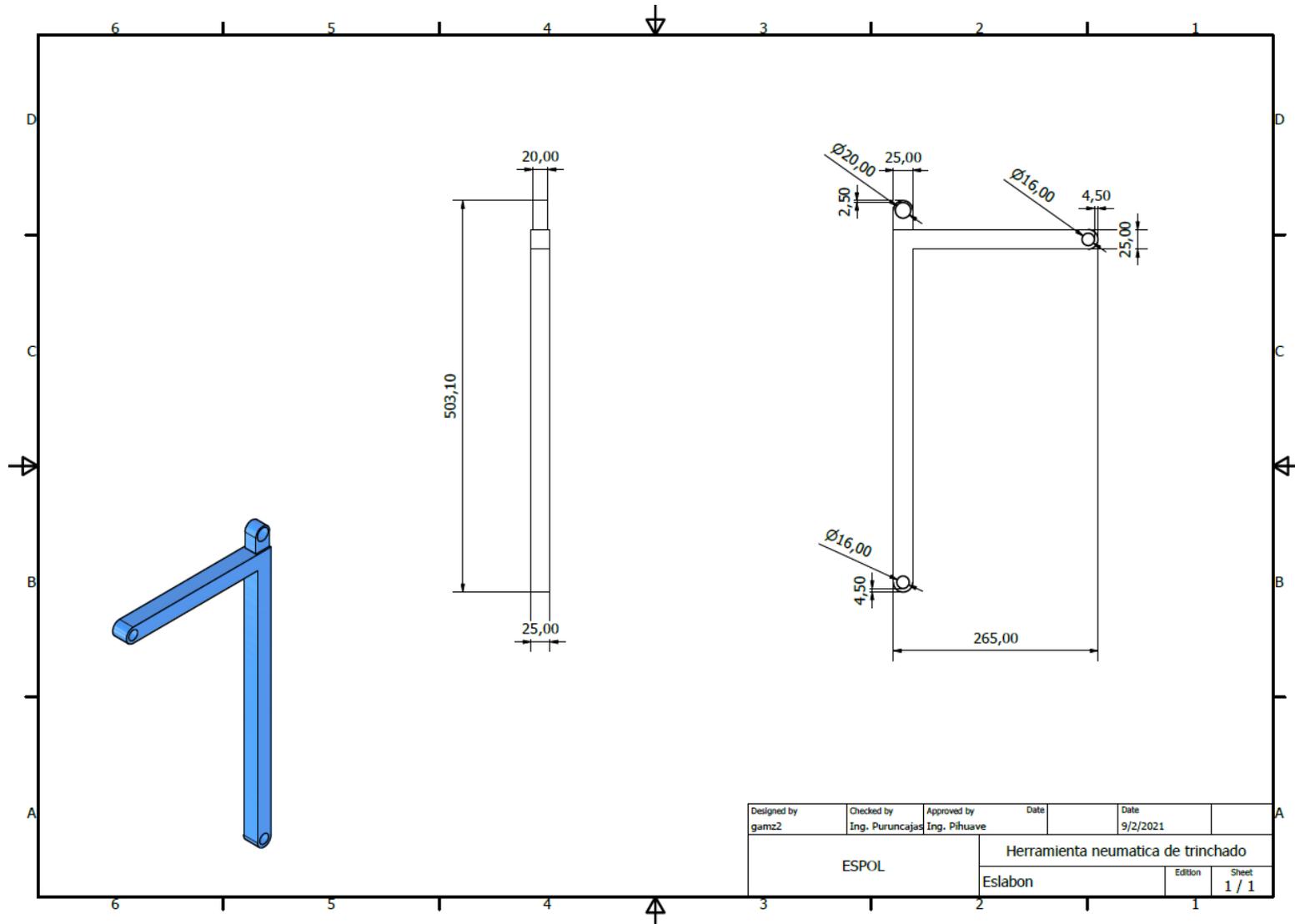


Designed by G. Murillo - E. Ruiz	Checked by Ing. Puruncajas	Approved by Ing. Pihuave	Date 9/2/2021	Date 9/2/2021
ESPOL		Herramienta neumatica de trinchado		
Ensamble			Edition	Sheet 1 / 1

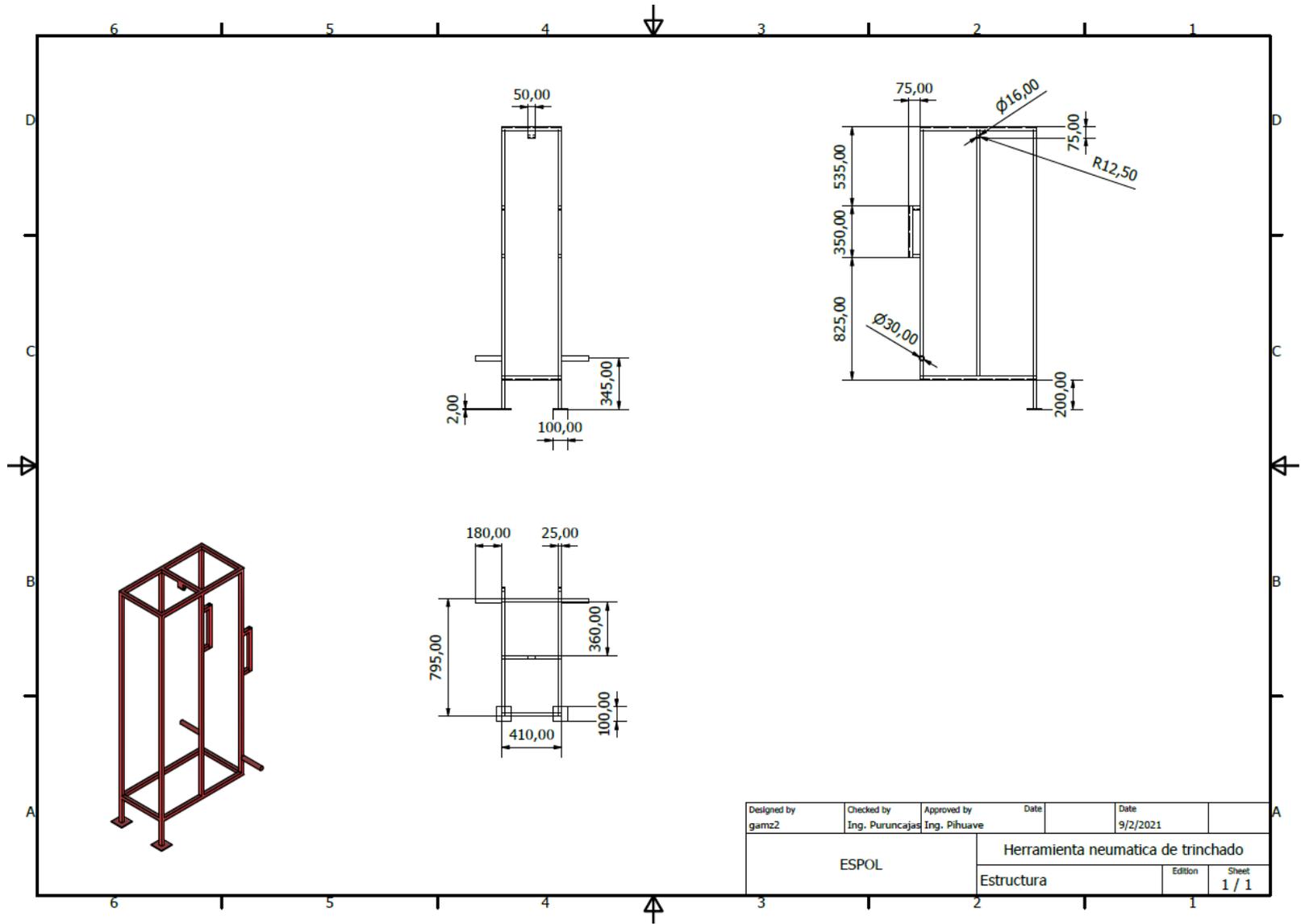
Plano C.1.1 Herramienta neumatica de trinchado



Plano D.1.2. Garras



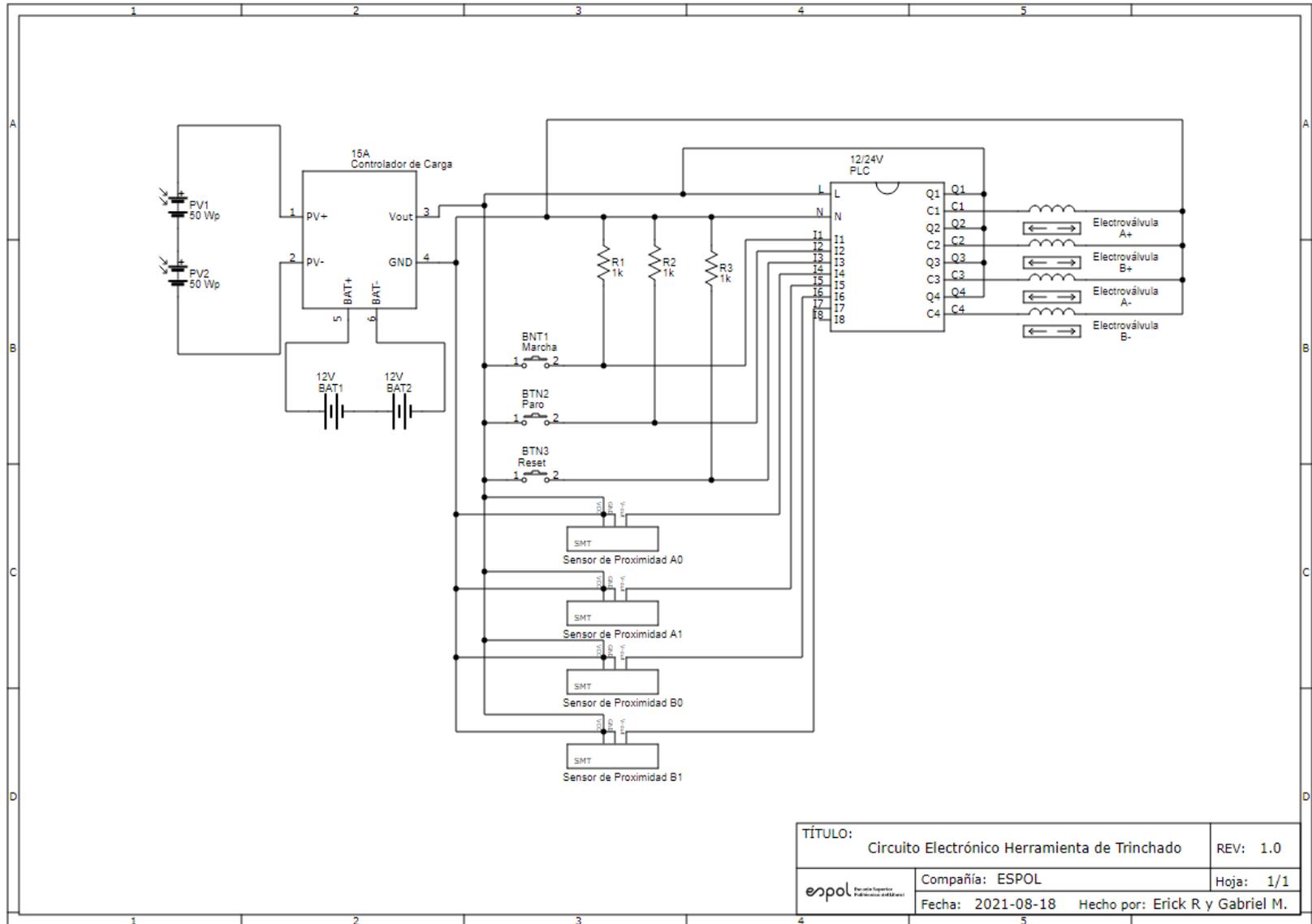
Plano E.1.3. Eslabón



Plano F.1.4. Estructura

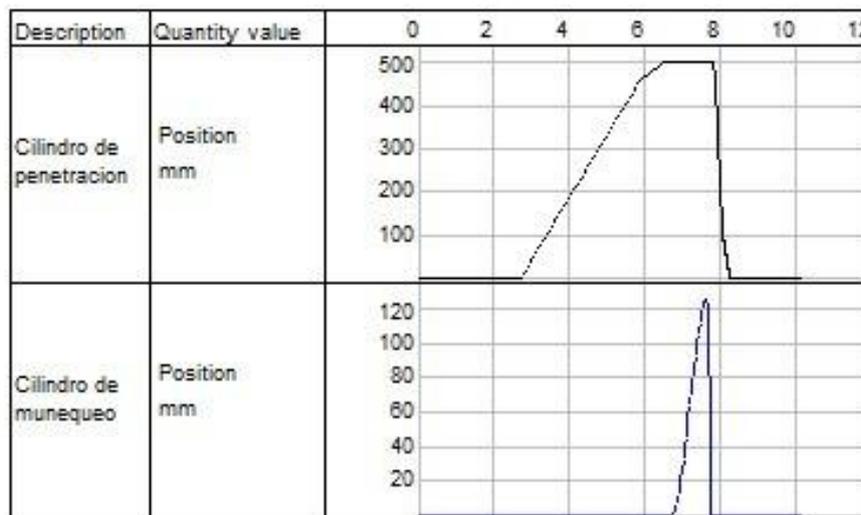
## **A.2      Diseño Electrónico de la herramienta de trinchado**

La herramienta neumática funciona mediante un circuito conformado por varios sensores conectados a un PLC, que a su vez tiene conectadas 4 electroválvulas a sus actuadores, como se puede apreciar en el plano A.2



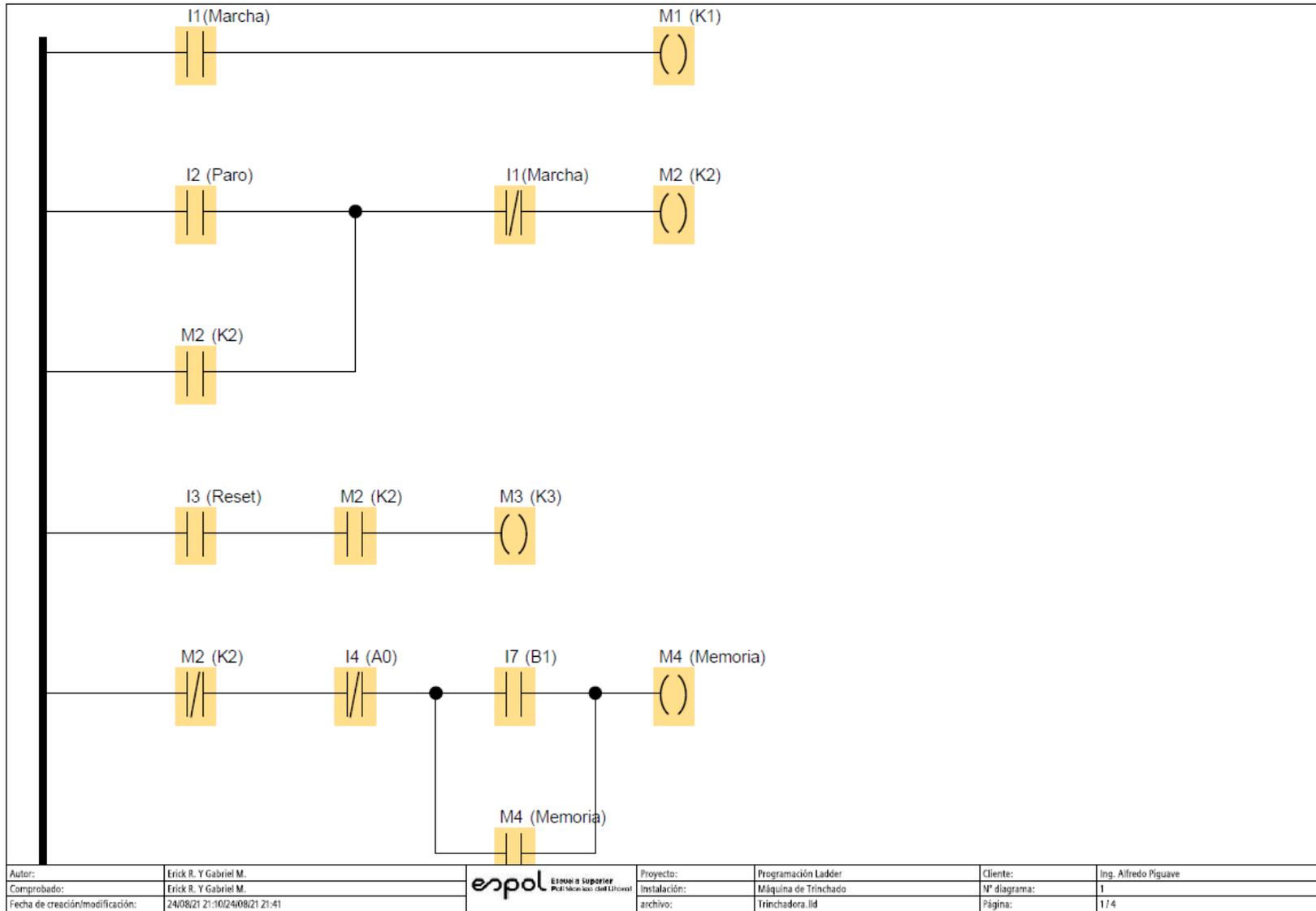
Plano A.2. Diseño Electrónico de la Herramienta neumática de Trinchado

Además de ello, el PLC cuenta con una programación Ladder para manejar sus entradas y salidas de acuerdo con el efecto que se desea lograr, mismo que se puede apreciar en la figura A.1:

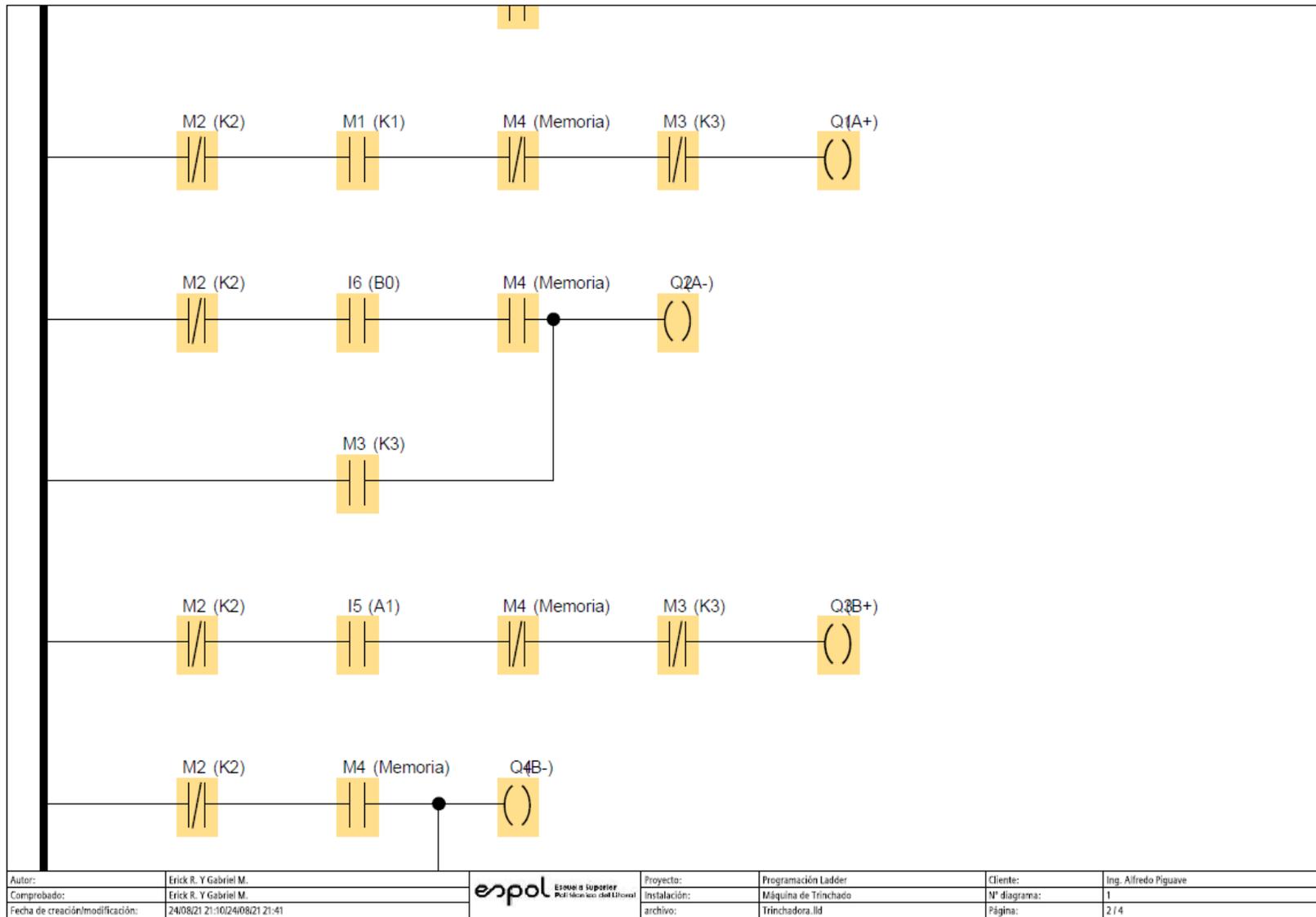


**Figura A.4.1. Diagrama de desplazamiento deseado para el circuito electroneumático**

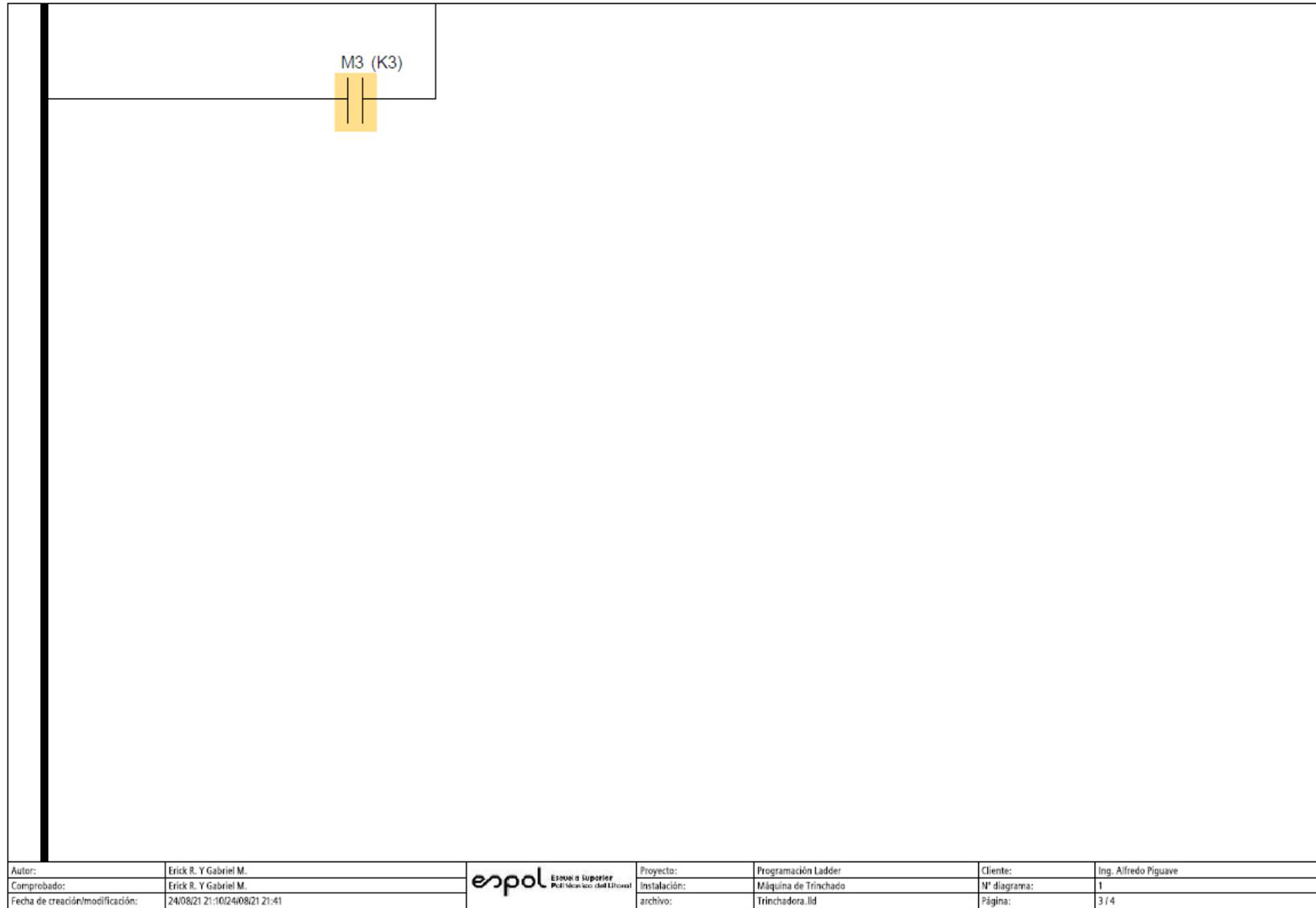
Dicha programación fue realizada y simulada en una herramienta de simulación y programación de PLC, dando el resultado descrito en el Plano A.3:



**Plano A.3.1 Programación Ladder del Controlador Lógico Programable**



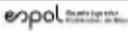
**Plano A.3.2. Programación Ladder del Controlador Lógico Programable**



**Plano A.3.3. Programación Ladder del Controlador Lógico Programable**

Conector	Rotulación
I1	Marcha
I2	Paro
I3	Reset
I4	A0
I5	A1
I6	B0
I7	B1
M1	K1
M2	K2
M3	K3
M4	Memoria
Q1	A+
Q2	A-
Q3	B+
Q4	B-

Autor:	Erick R. Y Gabriel M.		Proyecto:	Programación Ladder	Cliente:	Ing. Alfredo Figueroa
Comprobado:	Erick R. Y Gabriel M.		Instalación:	Máquina de Trinchado	N° diagrama:	1
Fecha de creación/modificación:	2008/21/21:10:24:08/21/21:41		archivo:	Trinchadora.lld	Página:	4 / 4

**Plano A.3.4. Rotulación de la Programación Ladder del Controlador Lógico Programable**