



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA SOLDADURA  
LINEAL MIG PARA PERFILES TIPO U DE ACERO ESTRUCTURAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniero en Mecatrónica

**AUTORES:** BRYAN XAVIER MÉNDEZ BERMEJO  
CARLOS SANTIAGO URGILES RODAS

**TUTOR:** ING. ANGEL EUGENIO CARDENAS CADME M.SC.

**CO-TUTOR:** ING. MÓNICA ALEXANDRA ROMERO SACOTO M.SC.

Cuenca – Ecuador

2024

# CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Bryan Xavier Méndez Bermejo con documento de identificación N° 0104802699 y Carlos Santiago Urgiles Rodas con documento de identificación N° 0105428528; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 16 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Bryan Xavier Méndez Bermejo  
0104802699



---

Carlos Santiago Urgiles Rodas  
0105428528

# **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Bryan Xavier Méndez Bermejo con documento de identificación N° 0104802699 y Carlos Santiago Urgiles Rodas con documento de identificación N° 0105428528, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño de una máquina automatizada para soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Bryan Xavier Méndez Bermejo  
0104802699



---

Carlos Santiago Urgiles Rodas  
0105428528

# CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ángel Eugenio Cárdenas Cadme con documento de identificación N° 0301631966, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA SOLDADURA LINEAL MIG PARA PERFILES TIPO U DE ACERO ESTRUCTURAL, realizado por Bryan Xavier Méndez Bermejo con documento de identificación N° 0104802699 y Carlos Santiago Urgiles Rodas con documento de identificación N° 0105428528, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Ing. Ángel Eugenio Cárdenas Cadme, M.Sc.  
0301631966

# Dedicatoria

## *Bryan Xavier Méndez*

Este proyecto va dedicado a mis padres, que me han apoyado incondicionalmente durante esta etapa tan complicada y por hacer posible que yo pueda seguir con mis estudios pese a todas las complicaciones que se han presentado y por motivarme a seguir adelante y no darme por vencido.

Así mismo, quiero dedicar este proyecto a mi hermana, por estar conmigo cuando más lo necesitaba, por creer en mí y ayudarme a aclarar mi mente, dándome las fuerzas para continuar a lo largo de todo este trayecto y poder llegar al final.

## *Carlos Santiago Urgiles*

Quiero dedicar este proyecto de titulación a Dios quien ha sido mi guía y fortaleza durante toda esta etapa de mi vida. A mis padres, por haberme brindado su apoyo incondicional siendo ese pilar fundamental para mi desarrollo educativo y personal, quienes me han formado como la persona que soy y que quiero ser.

A mi hermana mayor por influir en mi superación durante toda mi vida, a mis hermanos menores por ser la razón de mi alegría y el motor que me motiva a continuar ha conseguir mis metas, a mi familia y maestros por haber sido un apoyo fundamental para mi formación académica y personal.

# Agradecimientos

## *Bryan Xavier Méndez*

Agradezco a mis padres y a mi hermana por todo el apoyo incondicional que han brindado durante todos estos años, siendo parte fundamental de este nuevo logro.

Agradadezco a mis compañeros, especialmente al Santiago y Andy GPT, ya que gracias a sus enseñanzas y ayuda, me han permitido avanzar durante todas las asignaturas, y que pese a la complejidad de las mismas siempre ha sido un equipo de trabajo enfocado a sobrellevar estos retos.

Agradezco al Ing. Eugenio Cárdenas por todos los conocimientos que nos ha brindado, haciendo posible realizar este proyecto de titulación.

## *Carlos Santiago Urgiles*

Agradezco principalmente a Dios por ser el pilar que me sostiene para cumplir mis objetivos, por la sabiduría que me ha brindado durante todo este proceso.

A mis padres y mis hermanos por ese cariño, apoyo, y comprensión ya que sin ellos no habria sido posible alcanzar este éxito en mi vida académica.

A mis compañeros y amigos, en especial a mis amigos Bryan y Andy GPT, con quienes hemos compartido muchos momentos de amistad y estudio, desde el inicio de esta etapa académica, la cual iniciamos juntos y terminamos juntos.

Al Ing. Eugenio Cárdenas, ya que sin sus consejos, su guía y su amistad no hubiera sido posible haber concluido este proyecto técnico de calidad.

Finalmente, agradezco de corazón a los docentes que me han ido formando durante estos cuatro años, quienes han estado presentes para solventar cualquier duda y brindarme sugerencias para mejorar cada día.

Este documento fue realizado enteramente en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

# Índice

<b>Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación</b>	<b>I</b>
<b>Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana</b>	<b>II</b>
<b>Certificado de dirección del trabajo de titulación</b>	<b>III</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>IV</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>V</b>
<b>Resumen</b>	<b>XIII</b>
<b>Abstract</b>	<b>XIV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Problema</b>	<b>2</b>
2.1. Antecedentes . . . . .	2
2.2. Descripción del problema . . . . .	3
2.3. Importancia y alcances . . . . .	4
2.4. Delimitación . . . . .	4
2.4.1. Espacial o geográfica . . . . .	4
2.4.2. Temporal . . . . .	5
2.4.3. Sectorial o institucional . . . . .	5
2.5. Problema General . . . . .	5
2.6. Problemas Específicos . . . . .	6
<b>3. Justificación</b>	<b>6</b>
<b>4. Objetivos</b>	<b>7</b>
4.1. Objetivo General . . . . .	7
4.2. Objetivos Específicos . . . . .	8
<b>5. Hipótesis</b>	<b>8</b>
5.1. Hipótesis General . . . . .	8



5.2. Hipótesis Específicas . . . . .	8
<b>6. Marco Teórico</b>	<b>8</b>
6.1. Soldadura . . . . .	9
6.2. Soldadura MIG . . . . .	9
6.3. Equipo para soldadura MIG . . . . .	10
6.4. Características de voltaje constante . . . . .	11
6.5. Tipos de soldaduras que se pueden realizar con MIG . . . . .	11
6.6. Variables en el proceso de soldadura MIG . . . . .	11
6.7. Ventajas del proceso de soldadura MIG . . . . .	13
6.8. Procesos de Soldadura MIG . . . . .	13
6.9. Perfiles normalizados tipo U . . . . .	14
<b>7. Marco metodológico</b>	<b>15</b>
7.1. Metodología de la Investigación . . . . .	15
7.2. Metodología del proceso . . . . .	16
7.2.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño mecánico y de control de la máquina automatizada para soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural . . . . .	16
7.2.2. Propuesta del diseño mecánico y de control de la máquina automatizada para soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural . . . . .	25
7.2.3. Análisis de recursos y costos disponibles para el diseño de una máquina automatizada para el proceso de soldadura lineal MIG de perfiles tipo U de acero estructural. . . . .	61
<b>8. Resultados</b>	<b>67</b>
8.1. Parámetros establecidos para el diseño mecánico y de control de la máquina automatizada para soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural . . . . .	67
8.2. Diseño mecánico de la máquina automatizada para soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural . . . . .	78
8.3. Resultados de la simulación del diseño mecánico y de control de una máquina automatizada para soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural . . . . .	80
<b>9. Conclusiones</b>	<b>91</b>
<b>10. Recomendaciones</b>	<b>92</b>

<b>Referencias</b>	<b>96</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>97</b>
<b>Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica</b>	<b>97</b>
<b>Anexo C: Medidas normalizadas de perfiles tipo U de acero estructural</b>	<b>99</b>
<b>Anexo D: Esquema eléctrico de control.</b>	<b>102</b>
<b>Anexo E: Planos estructurales de la máquina automatizada para soldadura lineal tipo MIG.</b>	<b>105</b>

# Lista de Tablas

- 1. Recolección de datos de la empresa CONSMET . . . . . 17
- 2. Pesaje de elementos críticos para el diseño de la mesa base de trabajo . . . . . 31
- 3. Pesaje de elementos críticos para la elección del servomotor . . . . . 54
- 4. Detalle de entradas y salidas del servodriver . . . . . 73
- 5. Comparación de resultados obtenidos. . . . . 82
- 6. Recolección de costos por mes del proceso de soldadura. . . . . 91
- 7. Matriz de consistencia . . . . . 98
- 8. Variable dependiente . . . . . 99
- 9. Cronograma de actividades. . . . . 104

## Lista de Figuras

1.	Ubicación de la empresa CONSMET. . . . .	5
2.	Proceso de Soldadura. MIG . . . . .	9
3.	Equipo para Soldadura MIG . . . . .	10
4.	Tipos de gas para protección . . . . .	12
5.	Perfiles normalizados Tipo U . . . . .	15
6.	Soldadora tipo MIG AOTAI. . . . .	19
7.	Máquina para oxicorte. . . . .	20
8.	Movimiento Circular. . . . .	22
9.	Movimiento Semicircular. . . . .	22
10.	Movimiento en Zig Zag. . . . .	23
11.	Movimiento Entrelazado. . . . .	23
12.	Tipos de alambre para soldadura MIG. . . . .	25
13.	Dimensiones del perfil tipo U de acero estructural. . . . .	26
14.	Catálogo de tubería cuadrada de acero estructural. . . . .	27
15.	Catálogo de planchas de acero laminadas al caliente. . . . .	28
16.	Medidas de mesa base de trabajo. . . . .	29
17.	Medidas de mesa base de guía lineal. . . . .	30
18.	Diagrama de una viga con cuatro apoyos. . . . .	32
19.	Diagrama de una viga ideal con dos apoyos y dos reacciones en los extremos para una carga normalmente distribuida. . . . .	34
20.	Diagrama de una viga ideal con dos apoyos y dos cargas puntuales. . . . .	34
21.	Diagrama de análisis de fuerzas cortantes entre el segmento AB . . . . .	36
22.	Diagrama de análisis de fuerzas cortantes entre el segmento AC. . . . .	37
23.	Diagrama de análisis de fuerzas cortantes entre el segmento AD. . . . .	38
24.	Diagrama de Fuerzas Cortantes. . . . .	40
25.	Área bajo la curva del diagrama de Fuerzas cortantes. . . . .	41
26.	Diagrama de Momentos Flectores. . . . .	45
27.	Mecanismo piñón cremallera. . . . .	51
28.	Medición física del módulo del piñón. . . . .	53
29.	Fórmulas de correas transportadoras o piñón - cremallera. . . . .	55
30.	Catálogo de las dimensiones del tubo cuadrado de acero estructural. . . . .	68
31.	Dimensiones del tubo cuadrado de acero estructural. . . . .	69
32.	Servomotor 40SM-M00330NAL. . . . .	70

33.	Acople hexagonal de bronce para eje de motor. . . . .	71
34.	Servo driver SDD04NK7D para servomotor 40SM-M00330NAL. . . . .	73
35.	Diagrama del entradas y salidas de Servo driver. . . . .	74
36.	Dispositivo PLC Xinje XD3-16RT-E. . . . .	76
37.	Sensor Limit Switch ME 81-08 . . . . .	77
38.	Ensamble general de la máquina automatizada para soldadura lineal tipo MIG. . . . .	78
39.	Ensamble completo de la máquina automatizada para soldadura lineal tipo MIG para perfiles tipo U. . . . .	79
40.	Esfuerzo máximo realizado por la estructura. . . . .	80
41.	Deformación máxima de la estructura ante la presencia de una carga externa. . . . .	81
42.	Deformación máxima del sistema piñón cremallera . . . . .	83
43.	Diagrama de flujo de la programación. . . . .	85
44.	Sección I de diagrama de flujo de la programación. . . . .	86
45.	Sección II de diagrama de flujo de la programación. . . . .	87
46.	Sección III de diagrama de flujo de la programación. . . . .	88
47.	Bloque de programación principal. . . . .	89
48.	Bloque de programación de indicadores. . . . .	90
49.	Medidas normalizadas de perfiles tipo U de acero estructural. . . . .	100
50.	Medidas normalizadas de perfiles tipo U de acero estructural. . . . .	101
51.	Se observa el esquema eléctrico de control del movimiento de la máquina automatizada. . . . .	102

## Resumen

**E**l proyecto técnico cuenta con un enfoque general del "Diseño de una máquina automatizada para soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural", la cual se realiza dentro de las instalaciones de la empresa CONSMET en donde se pretende resolver la problemática que radica en el proceso de soldadura lineal MIG para perfiles de acero tipo U.

Se explora una solución viable que conllevará beneficios tales como la economización de recursos de inversión en tiempo, calidad, y personal calificado. El contenido de esta investigación técnica se centra en el estudio del proceso de soldadura MIG, y la programación de trayectorias lineales que determinan el avance normal de soldadura, permitiendo así generar un sistema que permita el acoplamiento a distintas formas, tamaños y espesores del material estructural.

Es imprescindible que con dicho proyecto exista una optimización de tiempo al realizar un proceso de soldadura continua, y de calidad ya que al obtener una sucesión de patrones determinados se evitan errores de manufactura, por último, se genera un ahorro en costos de producción debido a la automatización del proceso.

Es por ello que para brindarle una solución accesible se realizará el diseño de una máquina automatizada de soldadura lineal MIG que brinde una versatilidad en sus parámetros de calibración en base al material a elección.

**Palabras clave:** Soldadura lineal MIG, economización de recursos, avance normal de soldadura, automatización del proceso, versatilidad, calibración.

## Abstract

**T**he technical project aims to design a self-machine for linear MIG welding of structural steel U-sections. This project is being carried out within the facilities of the company CONSMET to address a challenge in the process of linear MIG welding of U-type steel profiles. This technical research explores a potential solution that may save resources and time while improving quality.

The study focuses on the MIG welding process and programming linear trajectories to determine the normal welding progress. This system has the potential to be adapted to various applications. This project requires a continuous welding process that is optimized to couple with various shapes, sizes, and thicknesses of structural materials.

This project requires a continuous welding process that is optimized to couple with various shapes, sizes, and thicknesses of structural materials. This project requires a continuous welding process that is optimized to couple with various shapes, sizes, and thicknesses of structural materials. It is important to maintain high quality standards throughout the process. The use of specific patterns in the welding process can help avoid manufacturing errors and save on production costs.

In order to optimize our production expenses, we propose, in order to provide an accessible solution, the design of an automated linear MIG welding machine that offers versatility in its calibration parameters based on the material of choice will be carried out.

**Keywords:** Linear MIG Welding, Resource Efficiency, Normal Welding Progress, Process Automation, Versatility, Calibration.

# 1. Introducción

**E**n la actualidad la industria de la construcción se encuentra desempeñando un papel fundamental dentro de nuestro país, y por ello esta directamente relacionada la eficiencia y calidad que se debe mantener y ofertar a la sociedad para establecer una correcta durabilidad y seguridad de las edificaciones que se realizan, por lo tanto los perfiles estructurales tipo U constituyen un elemento crítico en la cadena de producción de las estructuras metálicas, dichos perfiles están sujetos a mejoras constantes, de los cuales la automatización de su proceso de soldadura es uno de los más importantes, debido no solo al incremento en la demanda de mercado, sino también por la necesidad de reducir riesgos laborales.

Este proyecto se encuentra alineado con la optimización de un proceso industrial crucial en la fabricación de estructuras metálicas que hasta ahora solamente dependía de la destreza de un operario, quien debido a errores humanos conllevaba a variaciones en la calidad y precisión del producto final, dando como resultado pérdidas económicas, tiempos de producción, y fallas en fiscalizaciones de soldadura, por consiguiente se ha impulsado a la búsqueda de una solución viable que impacte directamente de manera positiva en resistencia, rigidez, y estabilidad de las estructuras metálicas mitigando los desafíos relacionados con la soldadura manual.

Por tal razón se propone un diseño de maquinaria innovador que permita abordar y superar las problemáticas generadas del proceso de soldadura lineal MIG, optimizando de manera oportuna la mayor cantidad de recursos junto con una reducción considerable de costos de producción.

En el Ecuador resulta complicada la búsqueda de maquinaria versátil de soldadura lineal MIG disponible, ya sea dentro del país o a través de una importación de otro país, sobre todo dentro del área de soldadura, ya que tradicionalmente es un sector industrial el cual encuentra difícil una automatización debido a la complejidad de su proceso, entonces se procede a generar un diseño con parámetros específicos de manera que pueda ser rentable su futura implementación.



## **2. Problema**

### **2.1. Antecedentes**

En la ciudad de Cuenca, la realización de construcciones de casas, edificios, naves industriales, entre otros, se están realizando utilizando estructuras netamente metálicas debido a su estabilidad, rigidez, resistencia frente a condiciones climáticas desfavorables, economización de tiempo y dinero; debido a ello se requiere mantener la precisión de soldadura de vigas, columnas, estructuras realizadas a base de acero para garantizar la calidad de la producción. (Fattuhi y Amara, 2020)

Hasta ahora, el proceso de soldadura ha sido realizado dependiendo de la destreza y conocimiento del operador, por ello ciertas empresas se han encaminado en la implementación de máquinas automatizadas que permitan mantener la calidad del producto, por ello dentro de la zona de ensambles metálicos ya se encuentran ciertos productos similares en el mercado, los cuales están enfocados en aplicaciones industriales. (Bohnart, 2017)

#### **Soldadura por arco eléctrico con robots industriales**

El sector industrial ha sido uno de los campos en donde se observa la mayor cantidad de automatización y por ello la necesidad de reemplazar la mano de obra humana se ha convertido en una opción viable, y por eso se ha optado por opciones de brazos robóticos los cuales imitan el movimiento de una persona manteniendo la calidad y evitando la mayor cantidad de errores. La soldadura con robots industriales permite la fusión de metal base con alambre o hilo continuo, un consumible y un tipo de gas inerte específico. (Groover, 2017)

Por lo tanto a continuación se presentan ciertos ejemplos

- La empresa FANUC se ha dedicado a la construcción de robots de soldadura por arco eléctrico los cuales cuentan con 6 ejes de libertad acercándose al movimiento de un ser humano permitiendo una soldadura lineal para perfiles metálicos, pero este proceso no sería completamente apto debido a que dicha soldadura por arco tiene defectos y una de sus principales desventajas es que solamente cuenta con un campo de aplicación de dos metros. (FANUC Europe Corporation, 2023)
- La marca FORSTER Alemania cuenta con un brazo robótico articulado de soldadura por punto con cinco ejes, los cuales permiten un movimiento continuo pero con una deficiencia de longitud ya que solamente cuenta con un área de trabajo de tres metros, dificultando el trabajo en piezas metálicas de mayor longitud. (Forster Welding Systems GmbH, 2023)
- La empresa JINGGONG cuenta con una soldadora automática para perfiles metálicos tipo H con alma corrugada, el cual a través de un escaneo láser detecta la superficie del alma metálica corrugada para iniciar con el proceso de soldadura, permitiendo obtener un resultado homogéneo con un campo de acción de seis metros. (Jiangsu Huazhong Roll-Forming Machine Co., 2023)

## **2.2. Descripción del problema**

Debido a la demanda constante de la fabricación de estructuras metálicas empleadas en el ámbito recreativo, residencial e industrial, los fabricantes se han visto en la necesidad de mejorar el proceso de manufactura de las columnas que conforman dichas estructuras, para ofrecer un mejor producto en un menor tiempo, de este modo, se opta por utilizar equipos más especializados para atender este requerimiento.

El problema radica en que al depender solamente de la destreza y conocimiento del soldador existe una falta de exactitud en el proceso de soldadura reduciendo así la calidad de resistencia, rigidez, y estabilidad del producto terminado generando así fallos en toda la estructura que después será fabricada, así también dichas soldaduras fracasan cuando se realizan inspecciones de control de calidad, provocando pérdidas de dinero y tiempo, así como también la pérdida de la veracidad en los productos que los fabricantes ofrecen.

## **2.3. Importancia y alcances**

La necesidad de la automatización del proceso de soldadura, va en aumento en acuerdo a la demanda de mercado pero también, se exige productos de excelente calidad por lo que el proceso de soldadura automatizada debe ser preciso pero no excesivamente costoso, permitiendo así conseguir que las empresas economicen gastos de producción a través del acondicionamiento de un mecanismo capaz de darle solución a un proceso de soldadura lineal que requiere de gran exactitud, esto permitirá también el ahorro en costos de compra e implementación de un robot industrial de los que ya se encuentran en el mercado, e incluso de dichos productos que no cuentan con una distribución hacia latinoamerica.

Por lo tanto se pretende brindar una solución al proceso manual de soldadura lineal MIG de perfiles tipo U de acero estructural que hasta el momento existe inexactitud en la precisión de soldadura, y gasto innecesario de tiempo, permitiendo conseguir una disminución de errores de trayectoria y repetitividad.

El alcance que tendrá el proyecto de diseño será conseguir una sinergia entre el sistema de control y el diseño mecánico a través de la representación simulada mediante los distintos softwares de cada uno de los aspectos que necesitan analizarse, permitiendo obtener un control del proceso de soldadura lineal MIG para la unión de perfiles C de acero estructural.

## **2.4. Delimitación**

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

### **2.4.1. Espacial o geográfica**

Este proyecto tendrá lugar en la empresa CONSMET la cual se encuentra ubicada en la provincia del Azuay, cantón Cuenca, parroquia Totoracocha, en las calles Av. Los Andes 7-315 y calle Totoracocha, como se puede observar en la figura 1.

## Figura 1

*Ubicación de la empresa CONSMET.*



**Nota:** Delimitación geográfica del lugar donde se obtendrá información para el desarrollo del presente proyecto.

### 2.4.2. Temporal

El presente proyecto se realizará durante el periodo académico Septiembre - Febrero 2023-2024, durante el transcurso de la asignatura de "Integración curricular" cubriendo un total de 240 horas..

### 2.4.3. Sectorial o institucional

El presente diseño de una máquina automatizada para soldadura lineal MIG será realizada dentro de la empresa CONSMET la cual es de carácter privado y por ello permitirá la ejecución del proyecto dentro de sus instalaciones.

## 2.5. Problema General

- ¿Qué diseño es idóneo de una máquina automatizada para realizar el proceso de soldadura lineal MIG en perfiles tipo U de acero estructural?

## 2.6. Problemas Específicos

- ¿Es posible determinar los parámetros iniciales que permitan el diseño de una máquina automatizada para el proceso de soldadura lineal MIG de perfiles tipo U de acero estructural?
- ¿Es factible proponer un diseño de una máquina automatizada para el proceso de soldadura lineal MIG de perfiles tipo U de acero estructural?
- ¿Será posible determinar los costos de la propuesta de diseño de una máquina automatizada para el proceso de soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural?

## 3. Justificación

La imperatividad de la industria de la construcción dentro de una sociedad es indispensable debido a su relevancia generalizada en varios ámbitos, la necesidad de que dichos procesos sean los adecuados para optimizar la cantidad de recursos empleados dependen del avance tecnológico que permita garantizar un proceso de calidad que perdure, por lo tanto con el pasar del tiempo se han implementado y modificado ciertos procesos como la creación de estructuras metálicas para las edificaciones las cuales necesitan pasar por un proceso específico para obtener su máximo beneficio. (Cheng, 2018)

Lo que da paso a la soldadura de perfiles metálicos tipo U los cuales constituyen las bases de un armazón sólido, generando así a una necesidad de que el proceso de soldadura lineal sea el correcto, por lo tanto, la automatización de este proceso es fundamental para continuar con el desarrollo de edificaciones más sólidas, que perduren el mayor tiempo posible antes de una intervención de reparación, aumentando significativamente la eficiencia y productividad en comparación con la soldadura manual. (Thompson, 2019)

Los sistemas automatizados pueden funcionar de manera continua, lo que garantiza una mayor producción y un menor tiempo de inactividad, proporcionando una mayor precisión y consistencia en comparación con la soldadura manual, lo que se traduce en una calidad del producto final mejorada. Además, están programados para seguir patrones predefinidos de soldaduras repetibles que se basan solamente en su conocimiento y experticia. (Jeffus, 2016)

El proceso de soldadura manual MIG puede ser un trabajo peligroso para los operadores, ya que están expuestos a riesgos como radiaciones, chispas, salpicaduras y humos tóxicos. La automatización de este proceso reduce la exposición de los trabajadores a estos peligros, lo que mejora la seguridad laboral y reduce la posibilidad de accidentes o enfermedades relacionadas con la soldadura. (Fricke, 2019)

Los sistemas automatizados de soldadura lineal MIG pueden adaptarse fácilmente a diferentes requisitos y variaciones en la producción. Pueden ser programados para cambiar rápidamente entre diferentes tipos de soldadura, tamaños de piezas o configuraciones de corriente y voltaje, lo que permite una mayor flexibilidad en la producción y la capacidad de responder a cambios en la demanda del mercado de manera más eficiente. (Miller Electric Mfg. Co., 2018)

Aunque la automatización inicialmente puede requerir una inversión significativa, a largo plazo puede resultar en ahorros de costos. Los sistemas automatizados pueden funcionar de manera continua, lo que reduce la necesidad de mano de obra manual y, por lo tanto, los costos asociados con la contratación y capacitación de soldadores. (Wuest y Weimer, 2013)

La automatización puede minimizar los costos de reparación y de trabajo debido a una mayor calidad y consistencia de las soldaduras, es por esta razón que se va a desarrollar una máquina de soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural permitiendo así cubrir esta necesidad dentro del sector industrial, específicamente en el sector de la construcción. (Lazarescu, 2012)

El presente trabajo de titulación se enmarca dentro de la línea de investigación: **simulación y optimización de procesos industriales**.

## 4. Objetivos

### 4.1. Objetivo General

- Diseñar una máquina automatizada para realizar el proceso de soldadura lineal MIG en perfiles tipo U de acero estructural.

## **4.2. Objetivos Específicos**

- Determinar los parámetros iniciales que permitan el diseño de una máquina automatizada de soldadura lineal MIG de perfiles tipo U de acero estructural.
- Proponer un diseño de una máquina automatizada para el proceso de soldadura lineal MIG de perfiles tipo U de acero estructural.
- Realizar un análisis de recursos y costos de la propuesta de diseño de una máquina automatizada para soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural.

## **5. Hipótesis**

### **5.1. Hipótesis General**

- El diseño de una máquina automatizada para realizar el análisis de soldadura lineal MIG en perfiles tipo U de acero estructural.

### **5.2. Hipótesis Específicas**

- Se establecerán los parámetros iniciales que permitan el diseño de una máquina automatizada para el proceso de soldadura lineal MIG de perfiles tipo U de acero estructural.
- Se propondrá un diseño de una máquina automatizada para el proceso de soldadura lineal MIG de perfiles tipo U de acero estructural.
- Se planteará un análisis de gastos y recursos disponibles para la implementación del diseño de una máquina automatizada para el proceso de soldadura lineal MIG de perfiles tipo U de acero estructural.

## **6. Marco Teórico**

Dentro de este marco teórico se abordarán los temas relacionados con el proceso de soldadura, el cual incluye varios aspectos tales como seguridad, metodología, y recursos disponibles, refiriendo los siguientes items a continuación.

## 6.1. Soldadura

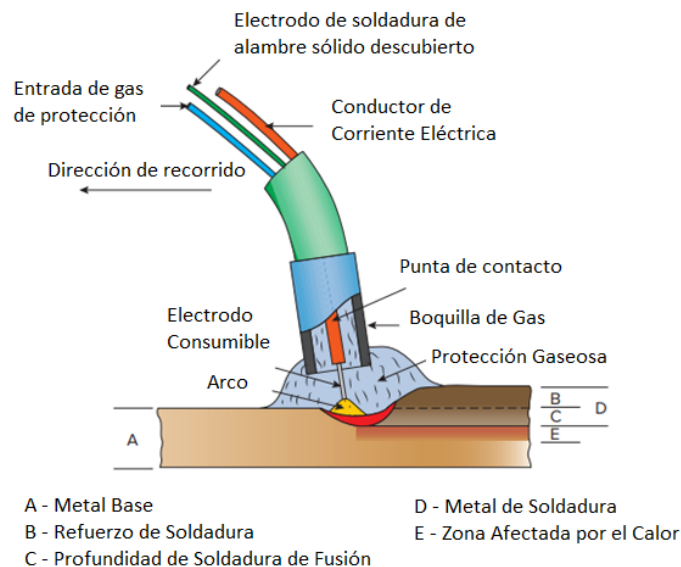
Una soldadura por definición es el proceso de unión que se ha producido debido al calentamiento por la fusión de distintos materiales al calentarse por la presencia de la temperatura inducida por la soldadura con o sin la aplicación de presión, y con o sin la aportación de material. (Jeffus, 2016)

## 6.2. Soldadura MIG

La soldadura MIG (cuyas siglas en inglés significan Metal Inert Gas) es un tipo de soldadura automática o semiautomática que emplea un hilo o alambre que es alimentado de manera automática, con una velocidad de avance constante, además, emplea por lo general un gas inerte como argón o helio con el fin de proteger el área a soldar de la contaminación atmosférica mientras se crea un arco entre el metal base y el hilo que genera a su vez calentamiento, el cual como consecuencia provoca la unión de las placas, como se puede observar en la figura 2. (Jeffus, 2016)

### Figura 2

*Proceso de Soldadura. MIG.*



**Nota:** Se puede observar los componentes involucrados en el proceso de soldadura, de acuerdo a Bohnart (2017).



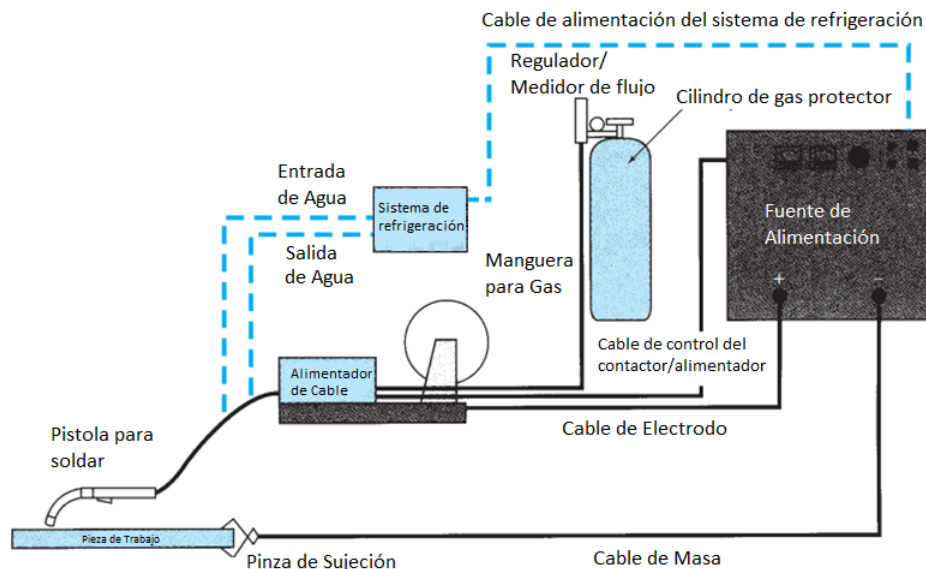
### 6.3. Equipo para soldadura MIG

El equipamiento necesario conforme a Bohnart (2017) para realizar el proceso de soldadura MIG incluye, como se puede observar en la figura 3, lo siguiente:

- Máquina para soldar o fuente de poder, la cual puede ser dada por un transformador – rectificador o un inversor de voltaje constante.
- Unidad de alimentación de alambre de electrodos consumibles con su controlador.
- Pistola para soldar.
- Mangueras de interconexión que conducen a la pistola, estos proporcionan el gas, el cable y el cable de control necesarios para el proceso.
- Cilindro de gas de protección, cilindro regulador y caudalímetro.
- Carrete de alambre del electrodo del tamaño y tipo adecuados para el trabajo de soldadura a realizar.

**Figura 3**

*Equipo para Soldadura MIG.*



**Nota:** Se visualiza el esquema del equipo utilizado en el proceso de Soldadura MIG, de acuerdo a Bohnart (2017).

## **6.4. Características de voltaje constante**

En los procesos de soldadura MIG según Bohnart (2017), el calor es generado por el arco que se ha producido en la pieza de trabajo y el extremo del electrodo, razón por la cual, para mantener este arco, se necesita del control de cinco elementos:

- El voltaje de arco adecuado en el cable.
- Corriente que pasa por el cable.
- Velocidad apropiada de alambre para reemplazar continuamente el alambre derretido por el calor del arco para formar la soldadura.
- Tasa de desgaste, la cual es proporcional a la corriente.
- Acción del arco que es proporcional al voltaje de este.

## **6.5. Tipos de soldaduras que se pueden realizar con MIG**

En el proceso de soldadura MIG se pueden realizar distintos tipos de soldaduras, entre los más comunes, de acuerdo a Bowditch, Bowditch, y Bowditch (2017) se tienen los siguientes:

- Soldadura de acero al carbono.
- Soldadura de acero inoxidable, ofrece resistencia a la corrosión.
- Soldadura de aluminio, empleado en estructuras ligeras.
- Soldadura de cobre, utilizada en la industria de refrigeración.
- Soldadura de aleaciones especiales, usada para aleaciones que utilizan níquel, titanio y magnesio. Es empleada en la industria aeroespacial.

## **6.6. Variables en el proceso de soldadura MIG**

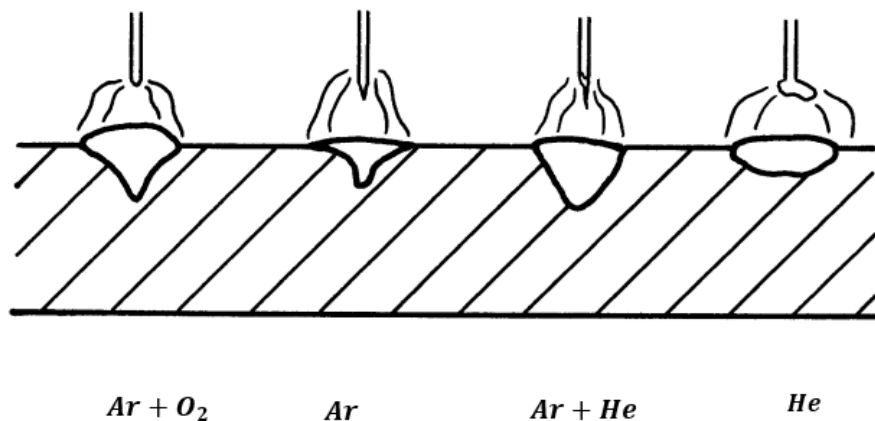
Las diversas variables identificadas según Bowditch y cols. (2017) en el proceso de soldadura MIG son las siguientes:

- Corriente de Soldadura: La corriente involucrada en el proceso tiene efecto en la penetración y fusión del material base y el material de aporte.

- Tensión de arco: Diferencia de potencial existente entre el electrodo y el material base, esta influye en la estabilidad y longitud del arco de soldadura y la transferencia de metal fundido.
- Velocidad de alimentación del alambre: Es la velocidad en la que el alambre se alimenta hacia la zona de soldadura afectando a la cantidad de material aportado y a la forma del cordón.
- Tipo de gas para protección: El tipo de gas empleado influye en la estabilidad del arco, en la apariencia y las propiedades del cordón realizado.
- Diámetro y tipo de alambre: El diámetro y composición química del alambre afectan a la cantidad de corriente que se requiere para el proceso, así mismo afecta en la transferencia de metal fundido y la apariencia del cordón.

**Figura 4**

*Tipos de gas para protección.*



**Nota:** Se representan los diferentes tipos de gases de aportación para protección y su efecto en la soldadura MIG, según Sunarc (2013).

## 6.7. Ventajas del proceso de soldadura MIG

De acuerdo a Bohnart (2017) el proceso de soldadura MIG presenta ventajas al momento de su aplicación, como pueden ser:

- Los procesos MIG producen soldaduras de alta calidad a velocidades altas sin el uso de fundente, mientras ofrece una limpieza menor al finalizar el proceso.
- Puede emplearse en vez de procesos de soldadura como los siguiente: soldadura oxiacetilénica, soldadura por arco metal blindado, soldadura de arco sumergido, soldadura por arco con núcleo fundente, soldadura por arco de tungsteno con gas.
- El proceso de soldadura puede realizarse de manera rápida y eficiente debido a la eliminación de arranques y paradas del proceso de soldadura debido a cambios de electrodo.
- Ayuda a evitar fallas ocasionadas por cambio de electrodos consecutivos como: la aparición de escoria, penetración deficiente, aparición de grietas y fusión deficiente.
- El proceso de soldadura puede realizarse en posiciones diversas y en materiales de calibre ligero y grueso.

## 6.8. Procesos de Soldadura MIG

En el proceso de soldadura MIG conforme a Sunarc (2013) existen distintos tipos de procesos por el cual realizar esta soldadura, entre los cuales se tienen:

- Semiautomático: Se regulan con antelación parámetros como: la tensión de arco, la velocidad de alimentación del hilo, la intensidad de soldadura y el caudal del gas empleado, además, el avance de la antorcha es realizado de manera manual.
- Automático: Todos los parámetros, incluidos la velocidad a la que se realiza la soldadura, son regulados con anterioridad, así mismo su aplicación durante e proceso se lo efectúa de manera automática.
- Robotizado: Todos los parámetros involucrados en la soldadura, además de las coordenadas de localización de la junta que se desea soldar mediante una unidad específica para este objetivo. El proceso de soldadura se lo lleva a cabo mediante la implementación de un sistema robótico, el cual ejecuta la programación correspondiente.

Estos procesos de soldadura son usados generalmente para soldar aceros de bajo y medio contenido de carbono, así como también es empleado para soldar acero inoxidable, aluminio y otros metales no férricos, además de tratamientos de recargue.

## **6.9. Perfiles normalizados tipo U**

Los perfiles tipo U normalizados son elementos estructurales de acero que se utilizan comúnmente en la industria de la construcción. Estos perfiles se caracterizan por tener una forma en U cuando se ven en sección transversal, lo que les brinda propiedades específicas de resistencia y estabilidad, como se lo ilustra en la figura 5. (American Institute of Steel Construction, 2010)

Los perfiles tipo U normalizados se fabrican mediante un proceso de laminación en caliente o en frío, donde se toma una plancha de acero y se le da forma al perfil deseado. Estos perfiles se producen siguiendo estándares y normativas específicas, como las establecidas por organizaciones como ASTM, DIN o JIS, lo que garantiza su calidad y compatibilidad con otros elementos estructurales, además, poseen diferentes especificaciones generales como se puede observar en las figuras 49 y 50 en el Anexo C. (Wang, Dong, y Li, 2014)

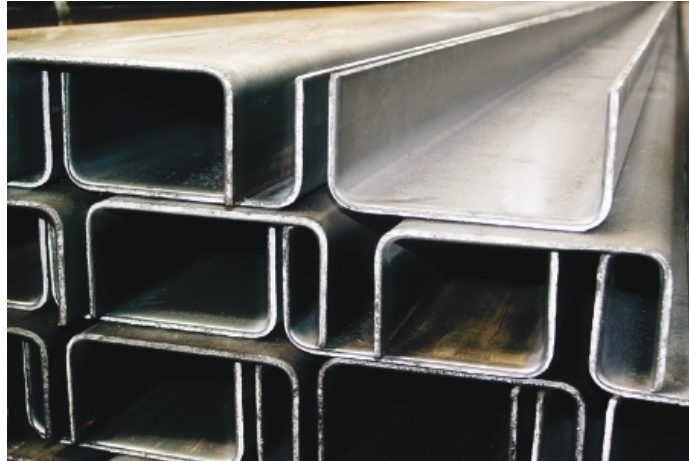
Estos perfiles se utilizan en una amplia gama de aplicaciones en la construcción, incluyendo la fabricación de estructuras de edificios, puentes, plataformas industriales y otros proyectos de ingeniería. Su diseño en forma de U proporciona una alta resistencia y rigidez, lo que los hace ideales para soportar cargas verticales y laterales en una estructura. (ASCE/SEI, 2016)

La ventaja de los perfiles tipo U normalizados es que ofrecen una solución estructural confiable y eficiente en términos de resistencia y capacidad de carga. Al estar normalizados, cumplen con especificaciones técnicas predefinidas, lo que facilita su diseño, fabricación y montaje en proyectos de construcción. (European Committee for Standardization, 2017)

Las estandarizaciones dentro del territorio ecuatoriano se encuentran reguladas bajo la norma NTE INEN 1623, con una calidad ASTM A36 - SAE J 403 1008. (Dipac Manta, 2023)

## Figura 5

*Perfiles normalizados Tipo U.*



**Nota:** Se ilustran los perfiles normalizados tipo U existentes en el mercado (Dipac Manta, 2023).

## 7. Marco metodológico

Se colocan los parámetros necesarios para conseguir cubrir las necesidades del proyecto de investigación, es imprescindible proporcionar las directrices y el enfoque necesario para que este proyecto se realice de una manera efectiva, a través de una amplia revisión de los antecedentes y la problemática presente, permitiendo así cubrir cada aspecto importante, generando así una opción factible.

Es necesario realizar una revisión de las técnicas y tecnologías disponibles dentro del proceso de soldadura para conseguir satisfacer requisitos específicos mecánicos, eléctricos, y de control.

### 7.1. Metodología de la Investigación

Dentro de esta sección, se abordará el cumplimiento de cada uno de los objetivos propuestos en la subsección 4.1 que se basa propiamente en el diseño de la máquina automatizada y en la subsección 4.2 se analiza una visión más amplia de la generación de características específicas a través de la determinación de parámetros iniciales que indican como se va a realizar la

metodología del diseño la cual consiste en la identificación de la necesidad, una investigación exhaustiva, la ideación, el análisis, y la selección apropiada de materiales para la maquinaria.

Una vez definido esto, se procede a la generación de una propuesta viable de la máquina automatizada de soldadura lineal MIG, que cumpla con los requisitos y requerimientos específicos brindados por la empresa patrocinadora, es por ello que para complementar y validar el diseño, es necesario un estudio estático a través de un entorno de simulación, así como también el estudio del control del proceso que va a realizar la máquina, a través del software. Generando así una fiabilidad de todo lo propuesto para una futura implementación dentro de la industria.

## **7.2. Metodología del proceso**

### **7.2.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño mecánico y de control de la máquina automatizada para soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural**

Para conseguir el objetivo deseado fue necesario en primera instancia conocer la maquinaria disponible en la empresa patrocinadora, para poder fijar requisitos específicos, así como obtener una idea principal de lo que necesita la empresa, es por ello que se realizó un análisis exhaustivo tanto de la soldadora tipo MIG disponible, como de una máquina que ha sido utilizada como cortadora de metal, este último implemento fue considerado dentro del proyecto debido a su avance lineal automático, al conocer el funcionamiento de cada herramienta se consigue extraer las características específicas necesarias para iniciar el diseño.

#### **Parámetros para selección de maquinaria e insumos**

A continuación se realizará una descripción de los implementos necesarios para la realización del proceso de soldadura; para iniciar es necesario conocer el material a soldar con sus respectivas dimensiones y tiempos de manufactura para seleccionar los recursos apropiados, es por eso que se observa en la tabla los resultados obtenidos por parte de la empresa.

**Tabla 1***Recolección de datos de la empresa CONSMET*

DATOS DE SOLDADURA DE PERFILES			
DIMENSIONES DEL PERFIL	LONGITUD	TIEMPO	PASE DE SOLDADURA
100x50x5mm 100x50x6mm	6 mts	4 horas	Pase de raíz y terminado
125x50x5mm 125x50x6mm	6 mts	5 horas	Pase de raíz y terminado
150x50x5mm 150x50x6mm	6 mts	5horas	Pase de raíz y terminado
150x80x8mm 150x80x10mm 150x80x12mm	6 mts	5 horas	Pase de raíz y terminado
200x50x5mm 200x50x6mm	6 mts	6 horas	Pase de raíz y terminado
200x80x8mm 200x80x10mm 200x80x12mm	6 mts	6 horas	Pase de raíz y terminado
250x60x6mm 250x60x8mm 250x60x10mm 250x60x12mm	6 mts	6 horas	Pase de raíz y terminado
300x100x6mm 300x100x8mm 300x100x10mm 300x100x12mm	6 mts	7 horas	Pase de raíz y terminado
300x120x10mm 300x120x12mm	6 mts	8 horas	Pase de raíz y terminado
300x150x10mm 300x150x12mm	6 mts	8 horas	Pase de raíz y terminado

**Nota:** La tabla de recolección de datos brinda una especificación del material a soldar, de manera en la que se consiguen obtener los parámetros específicos de diseño de la estructura de trabajo.



Se puede observar en la tabla que los periodos de trabajo de soldadura son variables según las dimensiones de los perfiles U, además, se observa también que el tiempo empleado es bastante extenso llegando incluso a durar un día normal de trabajo de un soldador, es por ello que es necesario la optimización de tiempo y cantidad de producción.

### **Especificaciones técnicas de la soldadora**

Se procedió a realizar un análisis entre las soldadoras tipo MIG disponibles en la empresa, y se decidió trabajar con la siguiente soldadora que contiene las siguientes características específicas y necesarias para el desarrollo del proyecto:

**Soldadora tipo MIG 350 AOTAI:** A continuación se observa la soldadora con sus especificaciones correspondientes.

- Tensión/frecuencia de entrada nominal (V/Hz): Trifásico, CA 380 V  $\pm$  10%, 50/60 Hz
- Capacidad de entrada nominal (KVA): 13
- Corriente de entrada nominal (A): 20
- Ciclo de trabajo (40 °C): 60% @350A
- OCV (V): 84
- Rango de corriente ajustable (A): 25 - 350
- Rango de voltaje ajustable (V): 14 - 40
- Modo de disparo: 2 /4T, Spot, Especial 4T /Especial 2T
- Tamaño del cable (mm): 0,8/ 1,0/ 1,2
- Tipo de cable: Sólido/Tubular
- Frecuencia de doble pulso (Hz): 0,5 - 5

- Clase de protección: IP23
- Gas para accionamiento de arco:  $CO_2$
- Dimensión (mm): 660 x 320 x 560
- Peso (kg/libra): 45/99

### Figura 6

*Soldadora tipo MIG AOTAI.*



**Nota:** Se representa la soldadora a utilizar en el proyecto técnico. Aotai Electric Co., LTD (2021).

### Especificaciones técnicas de la máquina de oxicorte

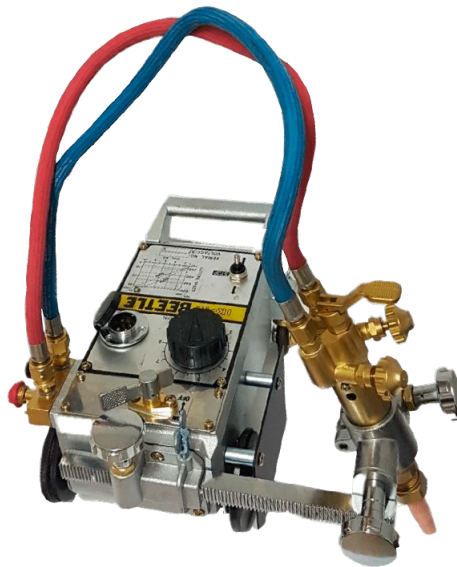
A continuación se realiza un análisis de la máquina disponible en la empresa, utilizada originalmente para realizar oxicortes lineales, y que será utilizada y acoplada para un distinto funcionamiento.

**Máquina portátil para oxicorte IK-12 BEETLE:** A continuación se observa la máquina para oxicorte con sus especificaciones correspondientes.

- Tensión/frecuencia de entrada nominal (V/Hz): Monofásico, CA 110 V, 60 Hz; Bifásico CA 220 V, 50Hz.
- Rango de velocidad ajustable: 150 - 800 mm/min (6-32 in/min)
- Clase de protección: IP23
- Riel de avance: 1,8 mts con opción al adicionamiento entre si, necesario para un mayor recorrido.
- Dimensión (mm): 139x120x250
- Peso (kg/libra): 9,5/20,9

**Figura 7**

*Máquina para oxicorte.*



**Nota:** Se representa la maquinaria que será utilizada para el recorrido lineal (Soldaduras Industriales S.A.S, 2022).

## **Descripción estructural de la mesa de soporte**

Para la realización de la mesa de trabajo se considera al acero negro ASTM A36 como la mejor opción para la estructura de soporte debido a sus características específicas de rigidez, elasticidad, resistividad a la corrosión; como se observa a continuación:

### **Propiedades mecánicas del acero negro**

- Módulo de elasticidad: 200 GPa.
- Elongación mínima en 50 mm: 23%
- Esfuerzo a la tensión: 400 - 550 MPa.
- Esfuerzo a la fluencia mínimo: 250 MPa.

Como se puede observar las propiedades mecánicas del material resultan efectivas para soportar el peso de nuestro sistema, basados en la tabla referencial de medidas. Es por ello que se cuenta con las siguientes dimensiones basados en el perfil tipo U de mayor dimensión con el que se cuenta actualmente.

### **Tipos de movimientos para la formación del cordón de soldadura**

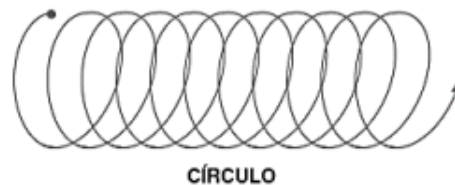
De acuerdo a Lancaster (2012) existe una diversidad de movimientos que se realizan ya sea a través de un electrodo, o de un alambre a medida del avance de la junta a soldar. Estos movimientos son esenciales para influir en la calidad de la soldadura final y están fuertemente influenciados por la elección del electrodo y la posición de la unión. Estos movimientos denominados oscilaciones generan un patrón definido a lo largo de la junta, los cuales generan un resultado consistente y duradero, entre las oscilaciones más comunes tenemos:

#### **■ Movimiento Circular**

Principalmente este tipo de movimiento se emplea para cordones de penetración cuando se necesita un depósito de soldadura mínimo. Se usa con frecuencia en ángulos internos, pero no es adecuado para rellenar capas superiores; como se observa en la figura 8.

## Figura 8

*Movimiento Circular.*



**Nota:** Se representa el tipo de movimiento (Ingenioso, 2022).

### ■ Movimiento Semicircular

Este tipo de modelo genera una fusión completa de las uniones a soldar, ya que el electrodo se desplaza a lo largo de la junta, trazando un arco, semicírculo, o media luna, garantizando una fusión eficiente en los bordes. Este método es adecuado especialmente en juntas chaflanadas y durante el proceso de recargue de piezas; demostrado en la siguiente figura.

## Figura 9

*Movimiento Semicircular.*



**Nota:** Representación de la oscilación semicircular (Ingenioso, 2022).

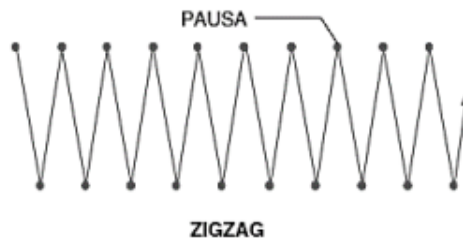
### ■ Movimiento en Zig Zag

Este patrón versátil se desplaza de izquierda a derecha a medida que avanza en el proceso de soldadura. Esta técnica se emplea principalmente para crear cordones de soldadura anchos. Al realizar este movimiento, se logra un acabado óptimo en los bordes

del cordón, facilitando el ascenso de la escoria hacia la superficie. Además, permite una mejor liberación de gases y previene la formación de porosidad en el material depositado; como se contempla en la siguiente ilustración.

### Figura 10

*Movimiento en Zig Zag.*



**Nota:** Recorrido de avance en Zig Zag (Ingenioso, 2022).

#### ■ **Movimiento Entrelazado**

Este tipo de movimiento se emplea generalmente en los cordones de terminación, donde se aplica una oscilación lateral al electrodo, cubriendo completamente los cordones de relleno. Es fundamental que este movimiento sea uniforme, ya que existe el riesgo de obtener una fusión deficiente en los bordes de la unión si la oscilación no se realiza de manera consistente; vease en la figura 11.

### Figura 11

*Movimiento Entrelazado.*



**Nota:** Se ilustra el movimiento entrelazado (Ingenioso, 2022).

## **Tipos de alambre para soldadura MIG**

Al momento de realizar una soldadura MIG es importante tomar en cuenta que existen dos tipos de alambre ya sea sólido ó tubular, con diámetros normalizados que van de 0,8/1,0/1,2 y 1,6 mm; y estos tendrán una elección en base a tipo de material base y junta. A continuación se observará las diferencias entre los tipos de alambre como se ilustra a continuación:

### ■ **Alambre Sólido ó Macizo**

La composición de los alambres sólidos debe tener similitud con la del metal base que se va a soldar. A estos alambres se les añaden variables de desoxidantes, dependiendo de la aplicación específica y del tipo de gas protector empleado; por lo general es utilizado para acero al carbono, acero inoxidable y aluminio.

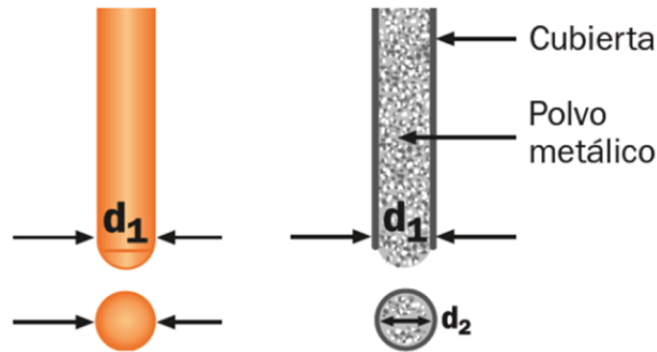
El desoxidante más frecuentemente que es empleado se denomina silicio, al cual se le incorporan pequeñas proporciones de diversos metales con el fin de mejorar las propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción o la resistencia a la corrosión. Por lo general, los alambres que contienen niveles más elevados de desoxidantes resultan más apropiados para la soldadura con  $CO_2$ , debido a que ayudan a prevenir la formación de poros en la soldadura.

### ■ **Alambre Tubular ó Núcleo Fundente**

Los beneficios asociados con los alambres tubulares para soldadura MIG incluyen una reducción significativa de las salpicaduras durante el proceso de soldadura, brindan también la facilidad para eliminar la escoria resultante de dicho proceso y por último brindan una notable resistencia a factores como el impacto y la tracción. Los materiales en los que se utilizan este tipo de alambres para soldadura MIG tubular son: aceros inoxidables, aceros al carbono, aceros de baja aleación, y aceros de fundición.

**Figura 12**

*Tipos de alambre para soldadura MIG.*



**Nota:** Se observa la diferencia entre los dos tipos de alambre de soldadura MIG según El equipo de marketing (2023).

### **7.2.2. Propuesta del diseño mecánico y de control de la máquina automatizada para soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural**

#### **Diseño estructural de la mesa de soporte**

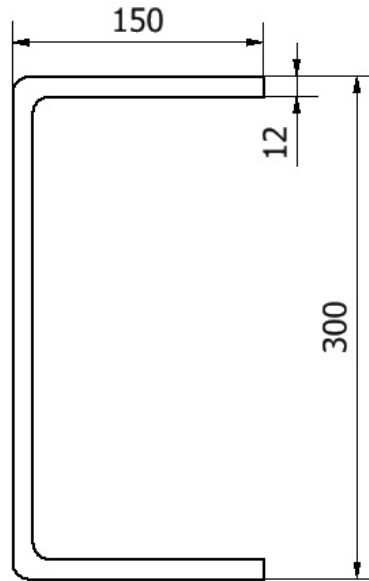
Para iniciar se define al acero negro ASTM A36 como el acero base para la realización de la estructura debido a sus propiedades mecánicas previamente descritas, se realiza una investigación del perfil de mayor dimensión con el que se va a trabajar, así como el peso total que deberá soportar la estructura.

Las medidas de perfiles estructurales tipo U que se comercializan a nivel Ecuador, y sobretodo con las que la empresa que ha otorgado el aval, utilizada para la elaboración de estructuras metálicas son de 300 mm de altura x 150 mm de ancho x 12 mm de espesor x 6000 mm de largo, como se observa en la figura 13.



### Figura 13

*Dimensiones del perfil tipo U de acero estructural.*



**Nota:** Se hace referencia a las medidas proporcionadas en la industria acerca de perfiles normalizados tipo U en el Ecuador.

Debido al tipo de material al que se le realiza el proceso de soldadura, se opta por diseñar la mesa de trabajo con tubería estructural de tipo cuadrada, al idealizar el proceso de soldadura se prevee realizar una soldadura doble simultánea, de tal manera que se realice la optimización de tiempo, así mismo se prevee la colocación de una placa de acero que recubra la estructura donde se sitúa cada par de perfiles tipo U a cada lado, facilitando así el deslizamiento de la misma a través de la estructura para iniciar el inicio del proceso de soldadura.

Según los catálogos disponibles se toma en cuenta los siguientes tubos cuadrados con medidas normalizadas, así como también el registro normalizado de placas de acero para el recubrimiento, como se observa en la figura 14 y la figura 15.

**Figura 14**

*Catálogo de tubería cuadrada de acero estructural.*

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

**Nota:** Se hace referencia a las medidas proporcionadas en la industria acerca de la tubería cuadrada en el Ecuador. (DIPAC, 2023).

**Figura 15**

*Catálogo de planchas de acero laminadas al caliente.*

ESPESOR	DIMENSIONES		PESO
mm	ancho	largo	kg.
	mm	mm	
2	1220	2440	46.74
3	1220	2440	70.11
4	1220	2440	93.48
5	1220	2440	116.85
6	1220	2440	140.22
8	1220	2440	186.96
9	1220	2440	210.33
10	1220	2440	233.70
12	1220	2440	280.44
15	1220	2440	350.55
18	1220	2440	420.66
20	1220	2440	467.40
22	1220	2440	514.14
25	1220	2440	584.25
30	1220	2440	701.10
38	1220	2440	888.06
50	1220	2440	1168.50

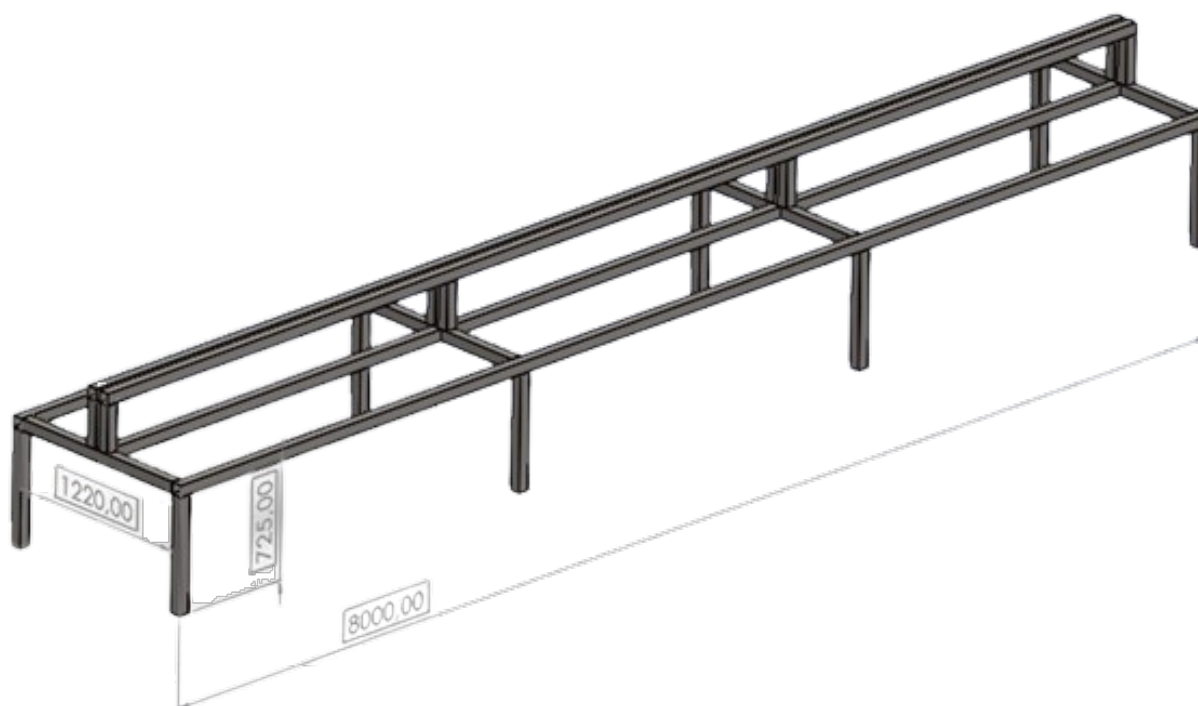
**Nota:** Se hace referencia a las medidas proporcionadas en la industria acerca de las planchas laminadas al caliente en el Ecuador. (Dismetel, 2016).

Se realiza el dimensionamiento de la mesa de trabajo según las especificaciones de diseño de soldadura doble simultánea, en base a las medidas de mayor dimensión de los perfiles tipo U, es por ello que se cuenta con los siguientes parámetros; para la mesa base se cuenta con las siguientes medidas, 8000mm de longitud, 1370mm de ancho, 800mm de altura; para la base de la guía lineal de la máquina portátil se registran las siguientes medidas, 8000mm de longitud, 170mm de ancho, y 370mm de altura, como su puede observar detalladamente en el Anexo F.

Es necesario recalcar que estas dos estructuras van combinadas en un solo sistema el cual va a servir como base tanto para los perfiles a soldar, como la máquina portátil a utilizar, para así obtener una sinergia en el proceso de soldadura como se observa a continuación, Según las figuras 16 y 17.

### Figura 16

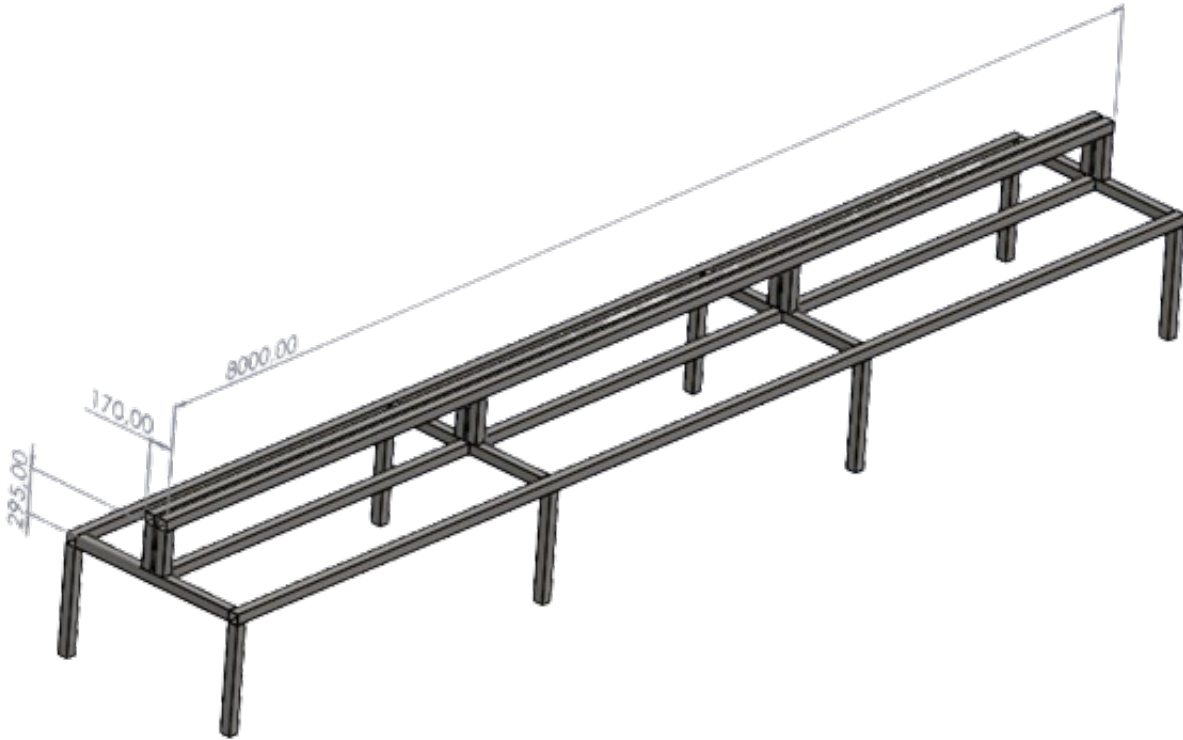
*Medidas de mesa base de trabajo.*



**Nota:** Se proporcionan las medidas a escala real de la mesa de trabajo.

**Figura 17**

*Medidas de mesa de guía lineal.*



**Nota:** Se proporcionan las medidas reales de la mesa de guía lineal para la máquina portátil.

Al realizar el dimensionamiento de la mesa de trabajo es necesario realizar un análisis del peso que va a soportar para obtener la capacidad de carga que resistirá la estructura durante el periodo de trabajo continuo. Es por ello que se han dimensionado los distintos valores de carga que se tienen presentes, como se observa en la siguiente tabla.

**Tabla 2**

*Pesaje de elementos críticos para el diseño de la mesa base de trabajo*

<b>DATOS DE PESAJE</b>	
<b>ELEMENTO</b>	<b>PESO UNITARIO</b>
Perfil 300x150x12x6000mm X 4unds	1255,58 Kg
Platina 50x9x6000mm X 4unds	84,72 Kg
Plancha de acero 2x1220x2440mm X 3unds	140,22 Kg
Riel de avance 170x5x8000mm	14,21 Kg
Mesa de guía lineal	157,67 Kg
Máquina portátil	9,5 Kg
Antorcha de soldadura X 2unds	2,5 Kg
<b>Peso Total</b>	<b>1664,52 Kg</b>

**Nota:** La tabla de recolección de datos del pesaje total brinda una especificación de la carga de elementos críticos a soportar en una futura implementación para la definición de las medidas de la mesa base de trabajo.

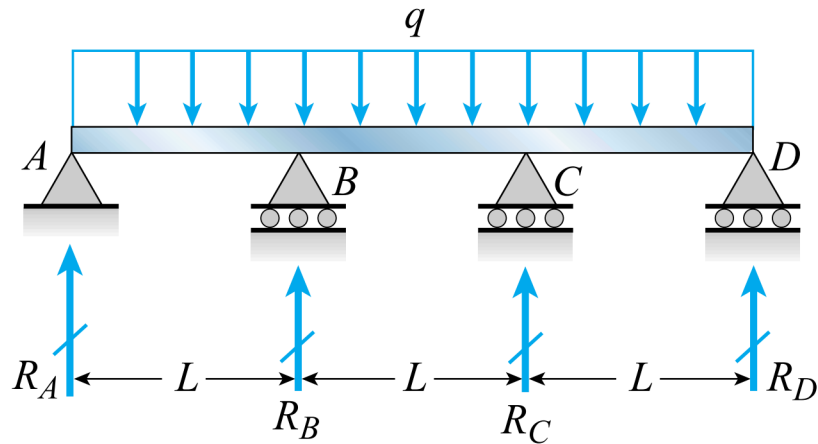
Se obtiene un resultado del pesaje total del cual partiremos para realizar el diseño mecánico. A partir del análisis anterior se procede a realizar los cálculos respectivos para la determinación de la medida de la sección del tubo cuadrado estructural a utilizar en la estructura.

### **Cálculos para el diseño de la estructura de la máquina**

Al realizar un primer análisis estructural para las barras laterales de la estructura únicamente con dos apoyos en cada extremo se determinó que la cantidad de apoyos no eran suficientes ya que existía una deflexión no admisible de 34 cm, razón por la cual se optó por realizar el análisis con cuatro soportes, como se aprecia en la figura 18.

**Figura 18**

*Diagrama de una viga con cuatro apoyos.*



**Nota:** Se muestra el diagrama de una viga con cuatro apoyos según lo indica Gere y Goodno (2012).

Con los parámetros obtenidos previamente para la base de la estructura de la soldadora se obtienen los valores para  $q$  y  $L$  respectivamente, donde la carga  $q$  se divide entre tres debido a que la estructura contiene tres vigas horizontales:

$$q = \frac{m}{3} \cdot g = \frac{1664,5 \text{ Kg}}{3} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 5442,92 \text{ N} \quad (1)$$

$$L = \frac{8}{3} \text{ m} = 2,667 \text{ m} \quad (2)$$

### Cálculo de las Reacciones en los apoyos:

$$R_B = R_C$$

$$R_A = R_D$$

$$\sum M_A = 0 \tag{3}$$

$$R_B(L) + R_C(2L) + R_D(3L) - \left(\frac{3}{2}L\right) \cdot 3Lq = 0 \tag{4}$$

$$L \left( R_B + 2R_B + 3R_D - \frac{9}{2}Lq \right) = 0 \tag{5}$$

$$3R_B + 3R_D = \frac{9}{2}Lq \tag{6}$$

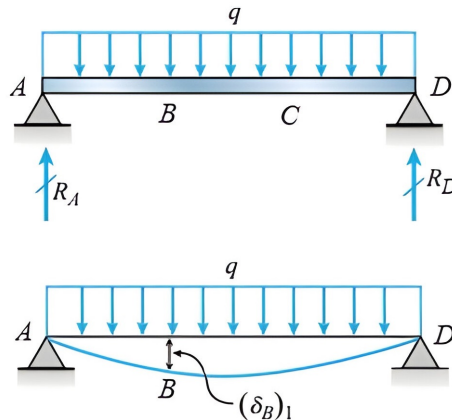
$$R_D = \frac{3}{2}Lq - R_B \tag{7}$$

Se emplea el método de superposición, donde se establecen dos casos ideales para el análisis del punto B, como se puede visualizar en las figura 19 y en la figura 20, en donde se determina que la suma de las deformaciones en este punto es igual a cero debido a que es un punto fijo, como se observa en la figura 18.



**Figura 19**

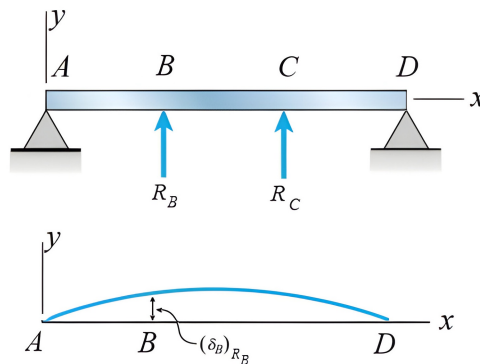
Diagrama de una viga ideal con dos apoyos y dos reacciones en los extremos para una carga normalmente distribuida.



**Nota:** Se ilustra la descomposicion empleada para el método de superposición, donde se tiene el primer caso ideal correspondiente una viga con dos apoyos simples y dos reacciones ubicadas en sus extremos para una carga normalmente distribuida, en donde se hace énfasis en la deformación en el punto B (Gere y Goodno, 2012).

**Figura 20**

Diagrama de una viga ideal con dos apoyos y dos cargas puntuales.



**Nota:** Se muestra la segunda descomposicion empleada para el método de superposición, donde se tiene el segundo caso ideal correspondiente una viga con dos apoyos simples y dos cargas puntuales, enfatizando la deformación existente en el punto B (Gere y Goodno, 2012).

Empleando las ecuaciones de deformación existentes para cada caso ideal como lo establecen Gere y Goodno (2012) y tomando en cuenta que el punto B es un punto fijo y no existe deformación, se establecen las ecuaciones 8 y 9, además, se reemplazan los valores del caso particular con los valores correspondientes a la estructura para continuar con el cálculo de las reacciones.

$$(\delta_B)_1 + (\delta_B)_{R_B} = 0 \quad (8)$$

$$-\frac{qx}{24EI}(L^3 - 2LX^2 + X^3) + \left(-\frac{Px}{6EI}(3aL - 3a^2 - x^2)\right) = 0 \quad (9)$$

$$x = L$$

$$L = 3L$$

$$q = L$$

$$-\frac{qL}{24EI}((3L)^3 - 2(3L)L^2 + L^3) + \frac{R_B L}{6EI}((3L(3L) - 3(L)^2 - L^2)) = 0 \quad (10)$$

$$-\frac{qL}{24EI}(22L^3) + \frac{R_B L}{6EI}(5L^2) = 0 \quad (11)$$

$$\frac{L^3}{6EI} \left(-\frac{22qL}{4} + 5R_B\right) = 0 \quad (12)$$

$$R_C = R_B = \frac{11}{10}qL \quad (13)$$

Reemplazando la ecuación 13 en la ecuación 7, se obtiene la siguiente expresión:

$$R_D = R_A = \frac{3}{2}qL - \frac{11}{10}qL \quad (14)$$

$$R_D = R_A = \frac{2}{5}qL \quad (15)$$

Reemplazando los valores de q y L, se obtienen las siguientes reacciones:

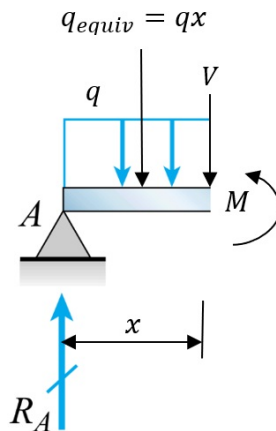
$$R_D = R_A = \frac{2}{5}qL = \frac{2}{5} \cdot 5442,92 \text{ N} \cdot \frac{8}{3} \text{ m} = 5805,8 \text{ Nm} \quad (16)$$

$$R_C = R_B = \frac{11}{10}qL = \frac{11}{10} \cdot 5442,92 \text{ N} \cdot \frac{8}{3} \text{ m} = 15965,9 \text{ Nm} \quad (17)$$

### Cálculo de la Fuerzas Cortantes:

#### Figura 21

Diagrama de análisis de fuerzas cortantes entre el segmento AB.



**Nota:** Se ilustra el diagrama de análisis de fuerzas cortantes entre el segmento AB donde existe un corte en este segmento a una distancia X (Gere y Goodno, 2012).

$$\sum F_y = 0 \quad (18)$$

$$R_A - qx - V = 0 \quad (19)$$

$$V = \frac{2}{5}qL - qx \quad (20)$$

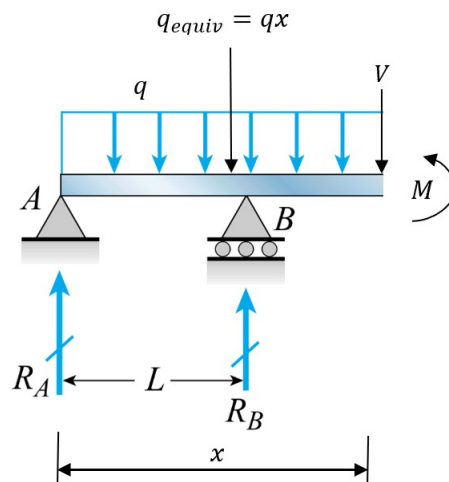
$$x = 0; \quad x = L \quad (21)$$

$$V(0) = \frac{2}{5}qL - q(0) = \frac{2}{5}qL \quad (22)$$

$$V(L) = \frac{2}{5}qL - q(L) = -\frac{3}{5}qL \quad (23)$$

**Figura 22**

*Diagrama de análisis de fuerzas cortantes entre el segmento AC.*



**Nota:** Se ilustra el diagrama de análisis de fuerzas cortantes entre el segmento AC, donde existe un corte entre el segmento BC a una distancia X (Gere y Goodno, 2012).

$$\sum F_y = 0 \quad (24)$$

$$R_A - qx - V + R_B = 0 \quad (25)$$

$$V = -qx + \frac{3}{2}qL \quad (26)$$

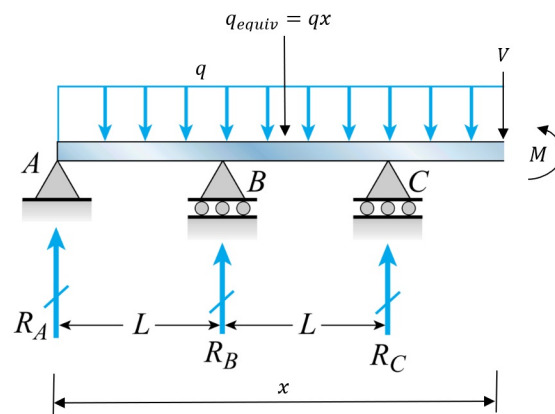
$$x = L; \quad x = 2L \quad (27)$$

$$V(L) = -q(L) + \frac{3}{2}qL = \frac{1}{2}qL \quad (28)$$

$$V(2L) = -q(2L) + \frac{3}{2}qL = -\frac{1}{2}qL \quad (29)$$

**Figura 23**

*Diagrama de análisis de fuerzas cortantes entre el segmento AD.*



**Nota:** Se ilustra el diagrama de análisis de fuerzas cortantes entre el segmento AD, donde existe un corte entre el segmento CD a una distancia X (Gere y Goodno, 2012).

$$\sum F_y = 0 \quad (30)$$

$$R_A + R_B + R_C - qx - V = 0 \quad (31)$$

$$V = \frac{13}{5}qL - qx \quad (32)$$

$$x = 2L; \quad x = 3L \quad (33)$$

$$V(2L) = \frac{13}{5}qL - q(2L) = \frac{3}{5}qL \quad (34)$$

$$V(3L) = \frac{13}{5}qL - q(3L) = -\frac{2}{5}qL \quad (35)$$

Reemplazando los valores de q y L se obtienen los siguientes resultados para las Fuerzas Cortantes:

Segmento de 0 a L:

$$V(0)_{0-L} = 5805,8 \text{ N} \quad (36)$$

$$V(L)_{0-L} = -8708,7 \text{ N} \quad (37)$$

Segmento de L a 2L:

$$V(L)_{L-2L} = 7257,2 \text{ N} \quad (38)$$

$$V(2L)_{L-2L} = -7257,2 \text{ N} \quad (39)$$

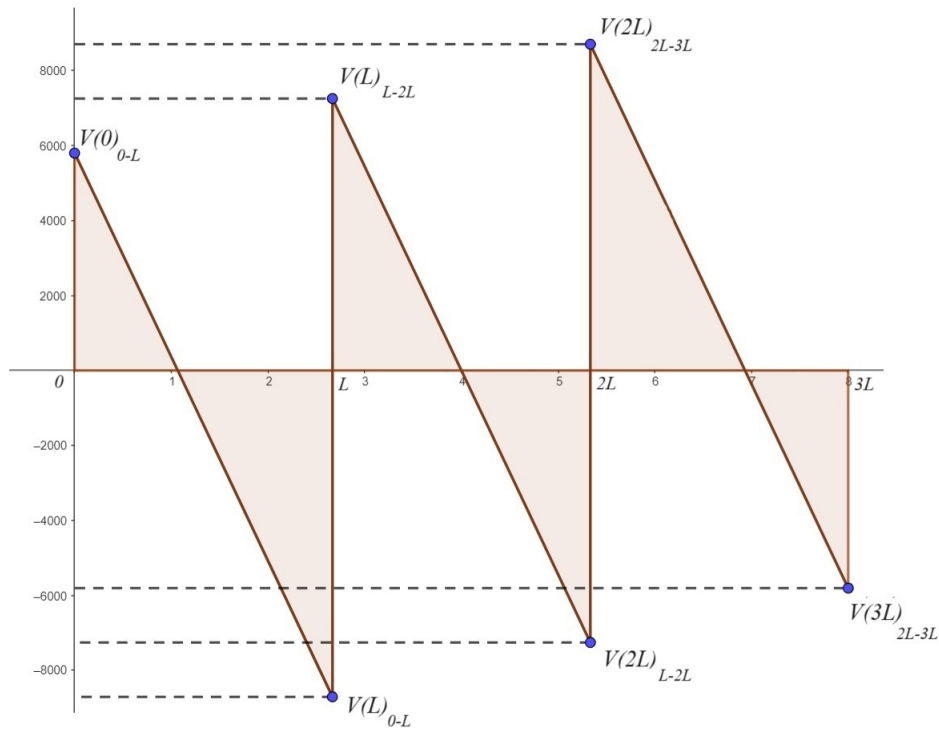
Segmento de 2L a 3L:

$$V(2L)_{2L-3L} = 8708,7 \text{ N} \quad (40)$$

$$V(3L)_{2L-3L} = -5805,8 \text{ N} \quad (41)$$

**Figura 24**

*Diagrama de Fuerzas Cortantes.*



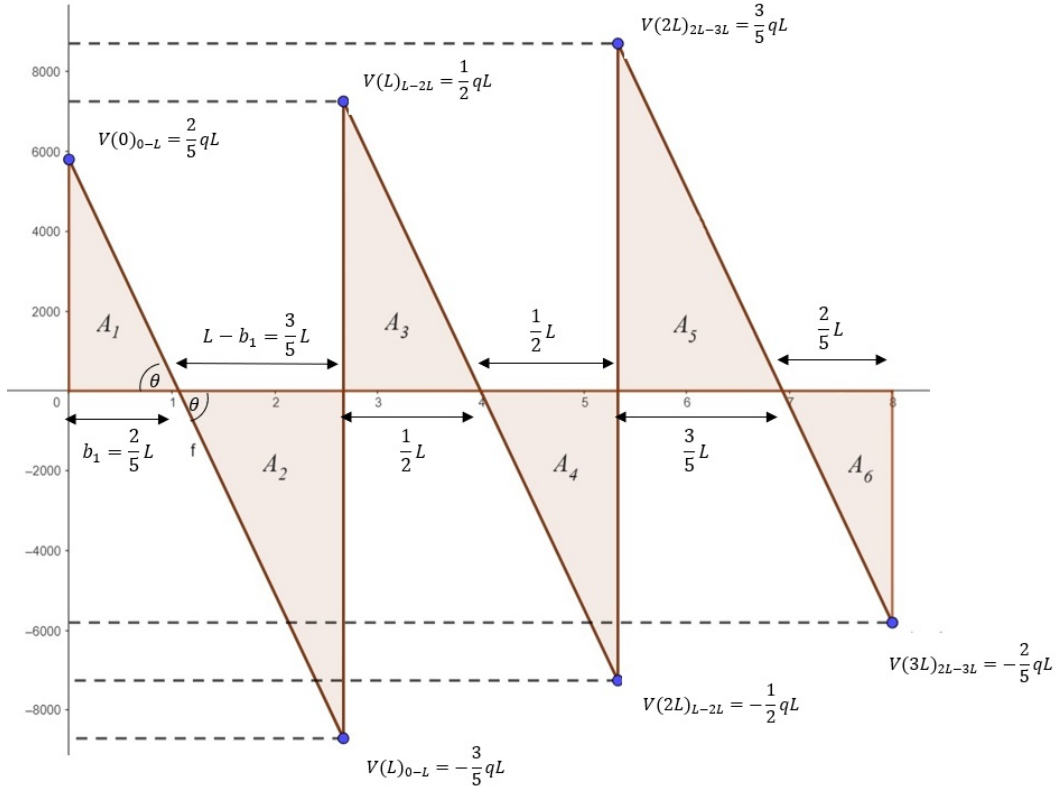
**Nota:** Se ilustra el Diagrama de Fuerzas Cortantes para una viga con cuatro apoyos fijos.

### **Cálculo del área bajo la curva del diagrama de Fuerzas cortantes.**

Para determinar el área 1 se establece una relación de triángulos para encontrar la distancia de la base del triángulo formado por esta área, como se puede observar en la figura 25.

**Figura 25**

Área bajo la curva del diagrama de Fuerzas cortantes.



**Nota:** Se ilustra el Diagrama de Fuerzas Cortantes de los distintos segmentos calculados y los datos necesarios para calcular las áreas.

$$\frac{b_1}{L - b_1} = \frac{\frac{2}{5}qL}{\frac{3}{5}qL} \quad (42)$$

$$b_1 = \frac{2}{5}L \quad (43)$$

$$b'_1 = L - \frac{2}{5}L = \frac{3}{5}L \quad (44)$$



Una vez encontradas las distancias de los triángulos del segmento 0 a L se procede a encontrar el área 1 y área 2:

$$A_1 = \frac{\frac{2}{5}L \cdot \frac{2}{5}qL}{2} = \frac{2}{25}qL^2 \quad (45)$$

$$A_2 = \frac{\frac{3}{5}L \cdot \left(-\frac{3}{5}qL\right)}{2} = -\frac{9}{50}qL^2 \quad (46)$$

Para el área 3 y área 4, se tiene que como la altura de estos triángulos es igual, entonces el valor de su base es equivalente a la mitad de la distancia comprendida entre el segmento L a 2L:

$$A_3 = \frac{\frac{L}{2} \cdot \frac{qL}{2}}{2} = \frac{qL^2}{8} \quad (47)$$

$$A_4 = -A_3 = -\frac{qL^2}{8} \quad (48)$$

En el caso de las áreas 5 y 6, debido a que sus alturas y bases son equivalentes a las de las áreas 2 y 1 respectivamente, sus áreas serán iguales pero con signo opuesto.

$$A_5 = -A_2 = \frac{9}{50}qL^2 \quad (49)$$

$$A_6 = -A_1 = -\frac{2}{25}qL^2 \quad (50)$$

Reemplazando los valores de  $q$  y  $L$ , se obtienen las siguientes áreas bajo la curva de las Fuerzas Cortantes:

$$A_1 = 3096,417 \text{ Nm} \quad (51)$$

$$A_2 = -6966,938 \text{ Nm} \quad (52)$$

$$A_3 = 4838,151 \text{ Nm} \quad (53)$$

$$A_4 = -4838,151 \text{ Nm} \quad (54)$$

$$A_5 = 6966,938 \text{ Nm} \quad (55)$$

$$A_6 = -3096,417 \text{ Nm} \quad (56)$$

### **Cálculo de los Momentos Flectores:**

Una vez calculadas las distintas áreas bajo la curva del diagrama de Fuerzas Cortantes, se procede a calcular los Momentos Flectores para cada tramo correspondiente:

$$M\left(\frac{2}{5}L\right) = A_1 = \frac{2}{25}qL^2 \quad (57)$$

$$M(L) = A_1 + A_2 = -\frac{1}{10}qL^2 \quad (58)$$

$$M\left(\frac{3}{2}L\right) = A_1 + A_2 + A_3 = -\frac{1}{10}qL^2 + \frac{qL^2}{8} = \frac{1}{40}qL^2 \quad (59)$$

$$M(2L) = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = -\frac{1}{10}qL^2 \quad (60)$$

$$M\left(\frac{13}{5}L\right) = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 \quad (61)$$

$$M\left(\frac{13}{5}L\right) = -\frac{1}{10}qL^2 + \frac{9}{50}qL^2 = \frac{2}{25}qL^2 \quad (62)$$

$$M(3L) = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 \quad (63)$$

$$M(3L) = A_1 + A_2 + A_3 - A_3 - A_2 - A_1 = 0 \quad (64)$$

Reemplazando los valores de  $q$  y  $L$ , se obtienen los siguiente valores para los Momentos Flectores:

$$M\left(\frac{2}{5}L\right) = 3096,417 \text{ Nm} \quad (65)$$

$$M(L) = -3870,521 \text{ Nm} \quad (66)$$

$$M\left(\frac{3}{2}L\right) = 967,6302 \text{ Nm} \quad (67)$$

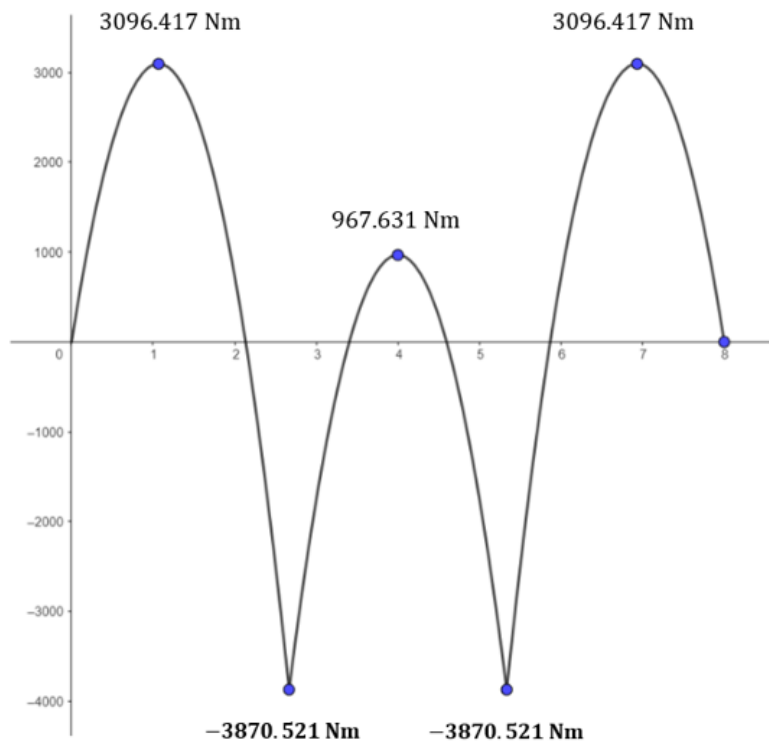
$$M(2L) = -3870,521 \text{ Nm} \quad (68)$$

$$M\left(\frac{13}{5}L\right) = 3096,417 \text{ Nm} \quad (69)$$

$$M(3L) = 0 \quad (70)$$

**Figura 26**

*Diagrama de Momentos Flectores.*



**Nota:** Se ilustra el Diagrama de Momentos Flectores de para una viga con cuatro apoyos fijos.

### Selección del tubo de acero estructural:

La selección del tubo de acero estructural se lo realiza de acuerdo a la Inercia calculada en función del Momento Flector Máximo obtenido anteriormente y un Factor de Seguridad correspondiente a 2:

$$F_s = \frac{\sigma_{\acute{U}ltimo}}{\sigma_{Perm}} \quad (71)$$

$$\sigma_{Perm} = \frac{\sigma_{\acute{U}ltimo}}{F_s} = \frac{400 \text{ MPa}}{2} = 200 \text{ MPa} \quad (72)$$

$$\sigma_{Perm} = \sigma_{Max} = \frac{M_{Max} \cdot C}{I} \quad (73)$$

$$I = \frac{M_{Max} \cdot C}{\sigma_{Max}} \quad (74)$$

$$I = \frac{3870,52 \text{ Nm} \cdot \frac{0,075 \text{ m}}{2}}{200 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2} = 7,23 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4 = 72,3 \text{ cm}^4 \quad (75)$$

Al obtener una Inercia de  $72,3 \text{ cm}^4$ , se procede a buscar en la tabla de tubos comerciales como se observa en la figura 30, donde se opta por la Inercia superior obteniendo como resultado una Inercia de  $89,98 \text{ cm}^4$  para un tubo de  $75 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}$  con  $4 \text{ mm}$  de espesor, el cual será empleado en la estructura de la máquina soldadora, además, se calcula el esfuerzo que se produce en la viga con la Inercia del tubo seleccionado:

$$\sigma_{Max} = \frac{M_{Max} \cdot C}{I} \quad (76)$$

$$\sigma_{Max} = \frac{3870,52 \text{ Nm} \cdot \frac{0,075 \text{ m}}{2}}{8,99 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4} \quad (77)$$

$$\sigma_{Max} = 161,45 \cdot 10^{-6} \text{ N/m}^2 = 161,45 \text{ MPa} \quad (78)$$

Debido a que existen tres vigas horizontales en la estructura que soportan la carga distribuida, se divide el esfuerzo máximo entre tres, para calcular el esfuerzo de cada una.

$$\sigma_{MaxViga} = \frac{161,45 \text{ MPa}}{3} \quad (79)$$

$$\sigma_{MaxViga} = 53,81 \text{ MPa} \quad (80)$$

Se calcula el nuevo factor de seguridad resultante de seleccionar el tubo con el que se va a trabajar.

$$Fs = \frac{400 \text{ MPa}}{161,45 \text{ MPa}} = 2,47 \quad (81)$$

### **Cálculos de Deformación:**

Con los datos obtenidos del gráfico de Momentos Flectores como se observa en la figura 26, se realiza un ajuste de curvas mediante métodos de mínimos cuadrados para obtener la ecuación de Momentos Flectores correspondiente al segmento comprendido desde 0 a 2,667 m, como se expone detalladamente en la siguiente ecuación resultante:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -2720,769x^2 + 5805,029x \quad (82)$$

Se emplea el método de doble integración para obtener la deformación máxima en los puntos críticos determinados:

$$\int \int EI \frac{d^2 y}{dx^2} = \int \int -2720,769x^2 + 5805,029x \quad (83)$$

$$\int EI \frac{dy}{dx} = \int -906,923x^3 + 2902,5145x^2 + C_1 \quad (84)$$

$$EI y = -226,731x^4 + 967,504x^3 + C_1 x + C_2 \quad (85)$$

Se procede a encontrar las constantes de integración  $C_1$  y  $C_2$ , en donde el Eje X representa la longitud de la viga y el Eje Y representa la deformación:

$$x = 0; \quad y = 0 \quad (86)$$

$$EI(0) = -226,731(0) + 967,504(0) + C_1(0) + C_2 \quad (87)$$

$$C_2 = 0 \quad (88)$$

$$x = 2,13; \quad y = 0 \quad (89)$$

$$EI(0) = -226,731(2,13) + 967,504(2,130) + C_1(2,13) \quad (90)$$

$$C_1 = -2202,15 \quad (91)$$

Se obtiene la siguiente ecuación para la deformación en el segmento de 0 a 2,667 m:

$$EIy = -226,731x^4 + 967,504x^3 - 2202,15x \quad (92)$$

Se calcula la deformación en la viga sustituyendo los valores de longitud correspondientes a aquellos puntos donde se registran Momentos Flectores críticos.

$$x = \frac{2}{5}L = \frac{2}{5} \cdot \frac{8}{3} = 1,067 \text{ m} \quad (93)$$

$$EIy_1 = -226,731(1,067)^4 + 967,504(1,067)^3 - 2202,15(1,067) \quad (94)$$

$$y_1 = -\frac{-1468,28}{(210 \cdot 10^9)(8,99 \cdot 10^{-6})} \quad (95)$$

$$\delta_1 = y_1 = -0,00777 \text{ m} = -7,77 \text{ mm} \quad (96)$$



$$x = L = \frac{8}{3} = 2,667 \text{ m} \quad (97)$$

$$EIy_2 = -226,731(2,667)^4 + 967,504(2,667)^3 - 2202,15(2,667) \quad (98)$$

$$y_2 = \frac{1009,031}{(210 \cdot 10^9)(8,99 \cdot 10^{-6})} \quad (99)$$

$$\delta_2 = y_2 = 0,0053 \text{ m} = 5,33 \text{ mm} \quad (100)$$

Se calcula la Deformación Total:

$$\delta_T = \delta_1 + \delta_2 \quad (101)$$

$$\delta_T = -7,77 \text{ mm} + 5,33 \text{ mm} \quad (102)$$

$$\delta_T = -2,44 \text{ mm} \quad (103)$$

### **Unión a través del proceso de soldadura de tubos estructurales para la mesa de trabajo.**

Para realizar el proceso de unión soldada de los tubos cuadrados estructurales, es necesario realizar un proceso de soldadura, para ello fue necesario regirse a la norma AWS D1.1/D1.1M:2020 que indica, que para el soporte de cargas estáticas, el ancho del cordón de soldadura es equivalente al espesor del material a utilizar, por tal motivo, el ancho del cordón de soldadura es de 4mm debido a la selección previa del tubo cuadrado estructural, a su vez también se indica que la cresta de la soldadura no debe exceder los 3mm de altura, además, es necesario recalcar que para el tipo de acero ASTM A36 y debido a la carga que va a soportar la estructura, es necesario realizar un tipo de soldadura continua alrededor del tubo de conexión sobre el tubo de metal base correspondiente, generando así mayor resistencia estructural.

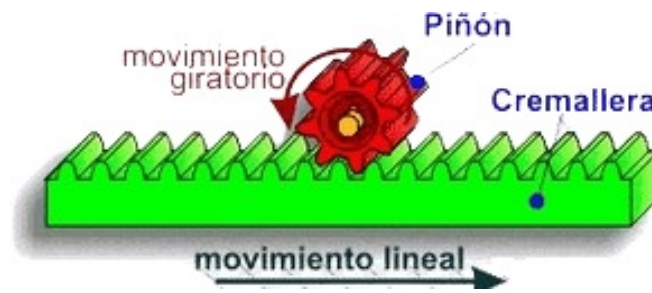
Se debe por consiguiente preparar el material, generando un biselado en los extremos para garantizar la penetración y correcta fusión de la suelda, para finalizar es necesario realizar las respectivas comprobaciones del estado de soldadura a través de una inspección visual, ó dado el caso una inspección radiográfica.

### **Sistema de transmisión de movimiento: Piñón - Cremallera**

Para el movimiento del eje transversal del avance de la máquina, es necesario el uso del sistema piñón - cremallera que se incluye dentro de la máquina, este mecanismo es comúnmente utilizado para convertir el movimiento rotativo en movimiento lineal. Consiste en dos componentes principales: un piñón (una rueda dentada) que gira alrededor de su eje central, y una cremallera (una barra dentada) que se mueve a lo largo de su eje linealmente.

#### **Figura 27**

*Mecanismo piñón cremallera.*



**Nota:** Se hace referencia al funcionamiento de un mecanismo piñón - cremallera, para observar su transformación de movimiento SEAS (2015).

Por consiguiente para realizar un diseño del piñón - cremallera fue necesario parametrizar el mismo, a través de una caracterización del material, una medición física, y un método de cálculo, con el dimensionamiento se obtuvieron los siguientes resultados:

El sistema piñón cremallera esta manufacturado con acero inoxidable AISI 304, el cual cuenta con las siguientes propiedades mecánicas según *Acero Inoxidable AISI 304* (2021):

- Estructura: Austenítica.
- Resistencia a la tracción: 1000 MPa

- Módulo de elasticidad: 206 MPa
- Módulo del piñón(M): medición de módulo 1, como se referencia en la imagen ??.
- Número de dientes del piñón(Z): 13 dientes.
- Diametro primitivo(DP): 13 mm.

$$DP = Z \cdot M \quad (104)$$

$$DP = 13 \cdot 1 = 13 \text{ mm} \quad (105)$$

- Paso circular(PC): 3,1416 mm.

$$PC = \pi \cdot M \quad (106)$$

$$PC = 3,1416 \cdot 1 = 3,1416 \text{ mm} \quad (107)$$

- Espesor del diente(S): 1,492 mm.

$$S = PC \cdot \frac{19}{40} \quad (108)$$

$$S = 3,1416 \cdot \frac{19}{40} = 1,492 \text{ mm} \quad (109)$$

- Pie del diente(PD): 1,25 mm.

$$PD = 1,25 \cdot M \quad (110)$$

$$PD = 1,25 \cdot 1 = 1,25 \text{ mm} \quad (111)$$

- Ángulo del espesor(AS): 13,1515°.

$$S = \frac{360 \cdot S}{2\pi \cdot \frac{DP}{2}} \quad (112)$$

$$S = \frac{360 \cdot 1,492}{2\pi \cdot \frac{13}{2}} = 13,1515^\circ \quad (113)$$

- Avance de la cremallera por vuelta de piñón(AC): 4,33 cm.

$$S = \frac{Z}{N} \quad (114)$$

$$S = \frac{13}{3} = 4,33 \text{ cm} \quad (115)$$

## Figura 28

*Medición física del módulo del piñón.*



**Nota:** Se realiza una medición física con elementos normalizados para observar el módulo del sistema piñón - cremallera.

## Parámetros de selección del servomotor

### Pesaje de elementos críticos para el movimiento del servomotor

A continuación se ha optado por el uso de un servomotor, el cual mantiene firmes ventajas frente a las condiciones necesarias para el desarrollo del proyecto, este servomotor se caracteriza por su control en la precisión de movimiento, su control de torque, el tamaño compacto, su peso ligero, y su interactividad para la programación del controlador a implementar.

Para determinar las características que son necesarias para el movimiento traslacional en el eje X es necesario obtener una visión mas amplia de la carga a la que se enfrenta para romper su inercia e iniciar su movimiento, en la tabla adjunta se visualiza este análisis.

**Tabla 3**

*Pesaje de elementos críticos para la elección del servomotor*

<b>DATOS DE PESAJE</b>	
<b>ELEMENTO</b>	<b>PESO UNITARIO</b>
Sistema piñón - cremallera	1 Kg
Antorcha de suelda MIG	2,5 Kg
Acople para antorcha de suelda MIG	1,5 Kg
<b>Peso Total</b>	<b>5 Kg</b>

**Nota:** La tabla de recolección de datos del pesaje total brinda una especificación de la carga de elementos críticos a soportar en una futura implementación para la definición de las medidas de la mesa base de trabajo.

### Parametrización del torque necesario para el servomotor

Para determinar el nivel de torque necesario para el funcionamiento adecuado del servomotor en un sistema Piñón - Cremallera, es fundamental recurrir a una serie de fórmulas diseñadas para este propósito, como se puede visualizar en la figura 29.

**Figura 29**

*Fórmulas de correas transportadoras o piñón - cremallera.*

Fórmulas de correas transportadoras (o piñón y cremallera)	
<b>Descripción:</b>	<b>Fórmulas:</b>
<b>RPM del motor</b>	$n_{motor} = (v_{carga}[m/s] * 2 * \pi * r) * i$
<b>Torque requerido para acelerar y desacelerar la carga</b>	$T_{acel}[N\cdot m] = J_{total}[Kg\cdot m^2] * (\Delta_{velocidad}[RPM] \div \Delta_{tiempo}[s]) * 2 * \pi \div 60$
<b>Inercia reflejada en eje del motor</b>	$J_{total} [Kg\cdot m^2] = J_{motor} + J_{reductor} + ((J_{piñón} + J_W) \div i^2)$
<b>Inercia de la carga</b>	$J_W = \text{Peso} \div e * r^2 ; J_W = ((\text{Peso}_1 + \text{Peso}_2) \div e) * r^2$
<b>Radio de las poleas o piñón</b>	$r = \text{Radio del piñón o poleas}$
<b>Razón de velocidad del reductor</b>	$i = \text{Velocidad alta} \div \text{velocidad baja de los ejes del reductor}$
<b>Torque de fricción</b>	$T_{resist} [N\cdot m] = (F_{total} * r) \div i$
<b>Fuerza total</b>	$F_{total} [N] = F_{ext} + F_{fricción} + F_{gravedad}$
<b>Fuerza de gravedad y fuerza de fricción</b>	$F_{gravedad} [N] = \text{Peso} * \sin \theta * 9,81; F_{fricción} = \mu * \text{Peso} * \cos \theta * 9,81$

**Nota:** Formulas empleadas empleadas en el cálculo de parámetros para el mecanismo Piñón - Cremallera. (*Manual Automation Direct*, 2023).

Cálculo de la Inercia del Piñón:

$$J_{Piñón} = \frac{\pi \cdot L \cdot \rho \cdot r^4}{2} \quad (116)$$

$$J_{Piñón} = \frac{\pi \cdot 0,018 \text{ m} \cdot 7850 \text{ Kg}/m^3 \cdot \left(\frac{0,0134}{2} \text{ m}\right)^4}{2} = 4,472 \cdot 10^{-7} \text{ Kg} \cdot m^2 \quad (117)$$

Cálculo de la Inercia de la Carga:

$$J_{carga} = Peso \cdot r^2 \quad (118)$$

$$J_{carga} = 3,5 \text{ Kg} \cdot \left(\frac{0,0134}{2} \text{ m}\right)^2 = 0,0001571 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 \quad (119)$$

Cálculo de la Inercia Total:

$$J_{Total} = J_{Piñón} + J_{carga} \quad (120)$$

$$J_{Total} = 4,472 \cdot 10^{-7} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 + 0,0001571 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 = 0,000157547 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 \quad (121)$$

Eficacia de la soldadora: 60%

Voltaje de la soldadora: 26 V

Corriente de la soldadora: 220 A

Cálculo de la Potencia y Potencia Efectiva:

$$P = 26 \text{ V} \cdot 220 \text{ A} = 5720 \text{ W} \quad (122)$$

$$P_{efectiva} = P \cdot \text{Eficacia del Proceso} \quad (123)$$

$$P_{efectiva} = 5720 \text{ W} \cdot 0,6 = 3432 \text{ W} \quad (124)$$

Cálculo del Aporte Térmico:

$$HI = \frac{P_{efectiva}}{\text{Espesor a soldar}} \quad (125)$$

$$HI = \frac{3432W}{12mm} = 286 \text{ J/mm} \quad (126)$$

Cálculo de la Velocidad de Avance de Soldadura:

$\beta$  = Factor de aprovechamiento

$$V_S = \frac{\beta \cdot V \cdot I}{HI} \quad (127)$$

$$V_S = \frac{0,85 \cdot 26V \cdot 220A}{286 \text{ J/mm}} \quad (128)$$

$$V_S = 17 \text{ mm/s} = 0,017 \text{ m/s} \quad (129)$$

Cálculo de la Velocidad Angular:

$$\omega = \frac{V_S}{\text{radio del piñón}} \quad (130)$$

$$\omega = \frac{0,017 \text{ m/s}}{\frac{0,0134m}{2}} = 2,53 \text{ rad/s} \quad (131)$$



Cálculo del tiempo para realizar la acción:

$$t = \frac{\text{Ancho del cordón de soldadura}}{V_S} \quad (132)$$

$$t = \frac{0,03m}{0,017 \text{ m/s}} = 1,76 \text{ s} \quad (133)$$

Cálculo del Torque de aceleración:

$$T_{acel} = J_{Total} \cdot \left( \frac{\Delta_{velocidad}}{\Delta_{tiempo}} \right) \quad (134)$$

$$T_{acel} = 0,000157547 \cdot \frac{2,53 \text{ rad/s}}{1,76 \text{ s}} \quad (135)$$

$$T_{acel} = 0,0002264 \text{ Nm} \quad (136)$$

Cálculo del Torque resistivo:

$$T_{resist} = \frac{F_{Total} \cdot r}{i} \quad (137)$$

$$i = \frac{\text{revoluciones del motor}}{\text{revoluciones del eje del reductor}} = 1 \quad (138)$$

$$F_{Total} = F_{ext} + F_{friccion} + F_{gravedad} \quad (139)$$

$$F_{Total} = 0 + 0,8 \cdot 5,7 \text{ Kg} \cdot \cos(0) \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 44,73 \text{ N} \quad (140)$$

$$T_{resist} = \frac{44,73 \text{ N} \cdot \left( \frac{0,0134}{2} m \right)}{1} = 0,2997 \text{ Nm} \quad (141)$$

Cálculo del Torque necesario para el servomotor:

$$T_{motor} = T_{Total} = T_{acel} + T_{resit} \quad (142)$$

$$T_{motor} = 0,0002264 \text{ Nm} + 0,2997 \text{ Nm} \quad (143)$$

$$T_{motor} = 0,2999 \text{ Nm} \quad (144)$$

### **Análisis de Fatiga del Sistema Piñón - Cremallera**

Debido a que el Sistema Piñón - Cremallera va a estar expuesto a cargas cíclicas por el movimiento continuo del servomotor durante el proceso de soldadura, se emplea el Criterio de Fatiga de Soderberg según Budynas y Nisbett (2008), el cual permite predecir la vida útil de un material sometido a cargas cíclicas, en donde dicho material llegará al fallo cuando la suma de las tensiones alternantes o cíclicas y las tensiones medias excedan los límites determinados por las propiedades del material.

Para el sistema piñón - cremallera, como se ha mencionado anteriormente, el material empleado es el acero AISI 304, cuya resistencia a la fatiga es de 288 MPa y además, posee una resistencia a la fluencia de 205 MPa, con estos datos y mediante el Criterio de Soderberg se establece que el elemento resistirá siempre que se cumpla la siguiente relación:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} \leq 1 \quad (145)$$

Donde:

$\sigma_a$  = Componente de la amplitud del esfuerzo.

$S_e$  = Límite a la fatiga del material.

$\sigma_m$  = Esfuerzo medio.

$S_y$  = Resistencia a la fluencia del material.

Se tiene que:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{mín}}{2} \quad (146)$$

$$\sigma_m = \frac{27,702 \text{ MPa} + (-44,013 \text{ MPa})}{2} \quad (147)$$

$$\sigma_m = -8,1555 \text{ MPa} \quad (148)$$

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{mín}}{2} \right| \quad (149)$$

$$\sigma_a = \left| \frac{27,702 \text{ MPa} - (-44,013 \text{ MPa})}{2} \right| \quad (150)$$

$$\sigma_a = 35,8575 \text{ MPa} \quad (151)$$

Reemplazando en la ecuación 145, se obtiene lo siguiente:

$$\frac{35,8575 \text{ MPa}}{288 \text{ MPa}} + \frac{-8,1555 \text{ MPa}}{205 \text{ MPa}} \leq 1 \quad (152)$$

$$0,0847 \leq 1 \quad (153)$$

Factor de seguridad de fatiga:

$$n_f = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{S_y}\right)^2}} \quad (154)$$

$$n_f = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{35,8575 \text{ MPa}}{288 \text{ MPa}}\right)^2 + \left(\frac{-8,1555 \text{ MPa}}{205 \text{ MPa}}\right)^2}} \quad (155)$$

$$n_f = 7,65 \quad (156)$$

Luego de realizar el análisis se obtuvo que los elementos está dentro de la zona segura de fatiga al tener un valor menor que 1 en los cálculos, específicamente, 0,084. Así mismo se obtuvo un factor de seguridad de fatiga de 7,65, este resultado brinda la confianza necesaria para que el sistema pueda operar de manera óptima y segura en las condiciones previstas.

### **7.2.3. Análisis de recursos y costos disponibles para el diseño de una máquina automatizada para el proceso de soldadura lineal MIG de perfiles tipo U de acero estructural.**

Para iniciar con este análisis es necesario la definición exacta de todos los parámetros que intervienen dentro tanto del proceso de soldadura manual, como el proceso automatizado, este análisis se lo realiza con una proyección a futuro de 5 años, Además, es fundamental recalcar que existen componentes dentro de ambos procesos que van a mantener un costo similar, es por ello que se realizará una exposición de los ítems a continuación:

#### **Costos del proceso de soldadura manual**

Para este proceso se toma en cuenta parámetros específicos con dos equipos, cada equipo cuenta con tres personas que son: soldador, armador, y ayudante, y se tomó como referencia la columna de mayor dimensión, la cual según la tabla no.1 indica un tiempo de 8 horas de proceso de manufactura.

**Costo de mano de obra para manufactura:** Cada uno de los integrantes de los equipos recibe una remuneración mensual por la labor que se encuentran desempeñando, divididos de tal manera.

- Soldador: \$1500 USD.
- Armador: \$600 USD.

- Ayudante: \$460 USD.

**Productividad:** La productividad diaria de 8 horas se basa en la manufactura de una columna de mayor dimensión, con el proceso de armado, y soldado de manera continua, por lo tanto se realizan 5 columnas de acero estructural a la semana, y 20 columnas de acero estructural en el mes por equipo.

**Costo de energía diario:** El costo de energía diario es de \$8 USD por estación de trabajo, lo que resulta en un total de \$24 USD, y generando un costo de \$480 USD mensuales en gasto energético.

**Costo de Seguro social del personal:** Para utilizar los servicios médicos es necesario que cada operario se encuentre con una afiliación al Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS), el cual conlleva el pago por parte del empleador de un 11,5% del sueldo mensual, por lo tanto según los *Servicios y Prestaciones - Afiliado - IESS (2022)* sería para un total de 9 operarios un valor mensual por persona de:

- Soldador: \$172 USD.
- Armador: \$69 USD.
- Ayudante: \$52,90 USD.

**Certificación de soldadores:** Para que se pueda realizar una validación del proceso de soldadura de una estructura metálica es necesario que el personal se encuentre apto para realizar dicho proceso, es por ello que se debe certificar a las personas a cargo del proceso a través del *Módulo 1 y 2: Soldadura SMAW I y II (2024)*, con los siguientes items a evaluar.

- Ajuste de voltaje y corriente de alimentación.
- Preparación de la superficie.
- Técnica de soldadura/ tipo de movimiento.
- Ajuste a cuatro posiciones distintas de soldadura.

Para la validación de la certificación del soldadura es necesario registrarse bajo la norma ISO 9606, ó la norma AWS CWI American Welding Society (AWS) Structural Welding Committee D1.1 (2020), que se basan en el código ASME sección IX; esta certificación indica que se debe realizar el proceso de calificación con un periodo de validación de 3 años a partir de la emisión del certificado con opción a recertificación. Dentro del código ASME sección IX indica que se evalúan los siguientes parámetros:

- Norma QW\_302.1 Ensayos mecánicos
- Norma QW\_302.2 Examinación radiográfica.
- Norma QW\_302.3 Junta de pruebas en tubería.
- Norma QW\_302.4 Evaluación visual.

Cabe recalcar que todas las normas mencionadas, sirven como un factor de evaluación de certificación por primera vez, y recertificación; mencionando también que según la norma QW\_322.1 indica que si la persona certificada no realiza operaciones de soldadura, el certificado emitido se invalidará, y tendrá que repetir el proceso de calificación.

Por último el valor de la certificación es de \$400 USD abarcando dos módulos profesionales de soldadura tipo SMAW, con una duración de 64 horas.

### **Equipos de protección personal:**

Dentro del proceso de soldadura se debe tomar en cuenta como un aspecto de vital importancia el uso de equipos de protección personal para salvaguardar la integridad del personal operativo, *Equipos de Soldadura* (2022) indica los distintos equipos tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Overol tipo piloto, casco de seguridad, zapatos de trabajo para todos los involucrados en el proceso de soldadura son entregados por un periodo de 6 meses de uso. El costo aproximado es de \$142 USD por operario.
- Equipo para soldar que incluye casco para suelda, delantal, mangas, polainas y monja en cuero, se entrega al soldador en un periodo de 6 meses. El costo aproximado es de \$71 USD por operario.

- Guantes de protección industrial para el armador, y el ayudante, así como también guantes especializados para soldadura; estos cuentan con una duración de 160 horas, equivalentes a 1 mes de trabajo. Con un costo aproximado de \$8 USD por operario.

### **Costos del proceso de soldadura con la propuesta de automatización**

Para realizar una futura implementación de esta máquina automatizada es necesario tomar en cuenta aspectos relevantes como mejora de eficiencia, calidad, tiempo y recursos empleados, por lo tanto se plantea el análisis de costos tanto de implementación, como de uso continuo del dispositivo. Cabe recalcar que este proceso automatizado necesitará de un ingeniero encargado del manejo del software, un armador y un ayudante encargado del proceso de manufactura.

**Costo de mano de obra para la realización del proyecto:** El diseño de esta máquina automatizada será realizada por dos profesionales dentro del campo de automatización, durante un periodo de 240 horas, y su construcción abarcará un tiempo estimado de 160 horas, tomando en cuenta que el costo aproximado por hora de cada profesional es de \$7 USD.

**Costo de componentes y materiales para la realización del proyecto:** Se desarrolló una parametrización de los componentes necesarios para la ejecución del proyecto, tomando en cuenta ciertos dispositivos suministrados por la empresa los cuales no ingresan dentro del costo debido a su anterioridad de adquisición con datos reservados de la empresa, dichos componentes son:

- Software de diseño: \$1800 USD.
- Estructura metálica base: \$494,80 USD.
- Máquina portátil para oxicorte: \$2000
- Servomotor, servodriver, circuito de fuerza: \$907,20 USD.
- controlador PLC: \$191,52 USD.

**Costo de mano de obra para manufactura:** Para la realización del proyecto es necesario contar con 4 personas que se encargarán del proceso de la siguiente manera:

- 2 Ingeriero/a mecatrónico/a: \$2240 USD.
- Ayudante no.1: \$460 USD.
- Ayudante no.2: \$460 USD.

Es necesario aclarar que este item será valorado solamente por un periodo de 160 horas hasta conseguir la el desarrollo de la máquina.

**Productividad diaria:** Se prevee generar el mismo tiempo de armado de la columna, con la diferencia principal en el proceso de soldadura continua, debido a que se realizará de manera continua sin generar paros, es por ello que se manufacturarán 2 columnas cada 6 horas, contando con 2 columnas diarias de operación de la máquina, generando así 10 columnas a la semana, y 40 columnas mensuales.

**Costo de energía diario:** el costo energético diario es de \$20 USD, generando así un costo de \$400 USD mensuales.

**Costo de operación diaria:** Se genera el costo de servicio que brinda la máquina para el uso diario dentro del sector industrial con los siguientes items:

- Ingeriero/a mecatrónico/a: \$1120 USD.
- Armador: \$600 USD.
- Ayudante: \$460 USD.

**Seguro social del personal:** Es indispensable el uso de servicios médicos, por lo cual se realiza una afiliación al Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social(IESS), el cual conlleva el pago por parte del empleador de un 11.5% del sueldo mensual, por lo cual según los *Servicios y Prestaciones - Afiliado - IESS (2022)* esta distribuido de la siguiente manera:

- Ingeriero/a mecatrónico/a: \$128.80 USD.
- Ayudante no.1: \$52,90 USD.
- Ayudante no.2: \$52,90 USD.



**Equipos de protección personal:** Dentro del proceso automatizado de soldadura se debe tomar en cuenta como un aspecto de vital importancia el uso de equipos de protección personal para salvaguardar la integridad del personal operativo, *Equipos de Soldadura* (2022) indica los equipos de protección tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Overol tipo piloto, casco de seguridad, zapatos de trabajo para todos los involucrados en el proceso de soldadura son entregados por un periodo de 6 meses de uso. El costo aproximado es de \$142 USD por operario.
- Guantes de protección industrial para el ingeniero, el armador, y el ayudante; estos cuentan con una duración de 160 horas, equivalentes a 1 mes de trabajo. Con un costo aproximado de \$8 USD por operario.

**Costos de Inversión** Para la futura implementación del proyecto es necesario tomar en cuenta los siguientes costos:

- Componentes para el diseño y manufactura del proyecto \$8553,52

#### **Costos de Máquina Tortuga para el proceso de soldadura**

La empresa brasileña SUMIG S.A. ha diseñado la *Máquina para Mecanizado de Soldadura - Autotrack 50* (2023) para realizar el proceso de soldadura, similar al dispositivo que se encuentra diseñado durante el trabajo de titulación, el modelo Autotrack-50 cuenta con una variedad de características, como se exponen a continuación:

- Alimentación 220V 50/60Hz.
- Velocidad de desplazamiento 50-750 mm/min.
- Peso 26,2kg.
- Dimensiones: 650 x 310 x 310 mm.
- Posee un sistema de control de fácil operación, existe un montaje sobre su base, sujetando el alimentador de alambre, que da mayor movilidad al conjunto.

Se observa que cuenta con beneficios relevantes para una aplicación industrial, su costo se encuentra en \$ 3658,54 y esta apto para la importación desde su país de origen hasta Ecuador.

## **Costos de elementos comunes involucrados en el proceso de soldadura**

Según Disoloxi (2023) se preveee un costo de consumibles que intervienen en ambos procesos de soldaduralos cuales se denominaron costos comunes, distribuidos de la siguiente manera:

- Tanque de  $CO_2$ : 40 tanques mensuales para el proceso de soldadura manual de 20 columnas, 80 tanques mensuales para el proceso de soldadura automatizado de 40 columnas. Cada tanque tiene un costo de \$80 USD.
- Tobera de terminal: 2 toberas mensuales para el proceso de soldadura manual de 20 columnas, 4 toberas mensuales para el proceso de soldadura automatizado de 40 columnas. Cada tobera tiene un costo de \$25 USD.
- Alambre para soldar: se realiza un análisis de costo aproximado de alambre, el cual dispone de diversos diámetros, generando así una conclusión de 5 rollos de alambre mensuales para el proceso de soldadura manual de 20 columnas, 10 rollos de alambre mensuales para el proceso de soldadura automatizado de 40 columnas. Cada alambre para soldar tiene un costo de \$35 USD.

## **8. Resultados**

A continuación se observa el producto del análisis exhaustivo considerando los puntos mas críticos para obtener una solución viable ante la problemática del proceso de soldadura manual, se exponen los resultados que han sido obtenidos a lo largo de este proyecto de diseño.

### **8.1. Parámetros establecidos para el diseño mecánico y de control de la máquina automatizada para soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural**

#### **Parametrización del tubo estructural**

A partir de los cálculos analíticos y de simulación realizados se opta por la búsqueda de un tubo cuadrado estructural que cumpla con las condiciones de inercia obtenidos, para evitar de manera satisfactoria fallos en el conjunto, es por esa razón que en base al catálogo de la

empresa DIPAC S.A. se selecciona el tubo cuadrado estructural de las dimensiones 75x75x4 mm, con las referencias a continuación:

**Figura 30**

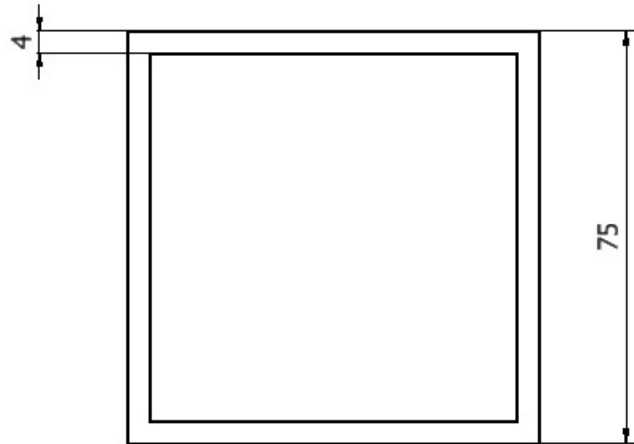
*Catálogo de las dimensiones del tubo cuadrado de acero estructural.*

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

**Nota:** Se hace referencia a las medidas proporcionadas en la industria acerca de perfiles comerciales de tubo cuadrado de acero estructural (DIPAC, 2023).

### Figura 31

*Dimensiones del tubo cuadrado de acero estructural.*



**Nota:** Se observan las medidas del tubo seleccionado para la construcción de la mesa de trabajo. (DIPAC, 2023).

### Parametrización del servomotor

A través del análisis de los cálculos realizados se procede a tomar la decisión de optar por un servomotor industrial debido a que se decidió emplear el movimiento en zig zag para el eje X del proceso de soldadura, debido a las características mecánicas y estéticas mencionadas anteriormente las cuales brindan una técnica correcta de la aplicación de la soldadura tipo MIG, es por ello que se opta por el servomotor con las siguientes características:

- Modelo del motor: 40SM-M00330NAL.
- Potencia nominal: 0,1 Kv.
- Tensión nominal: 220 V.
- Corriente nominal: 1,8 A.
- Velocidad nominal: 3000 rpm.
- Par nominal: 0,3 Nm.
- Par máximo: 0,96 Nm.

- Fuerza contra-electromotriz: 15V/1000r/min.
- Coeficiente par: 0,25 Nm/A
- Inercia del rotor:  $0,046 \times 10^{-4} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$ .
- Resistencia del devanado: 11,5  $\Omega$ .
- Inductancia del devanado: 10 Mh.
- Constante eléctrica: 0,95 ms.
- Peso: 0,59 Kg.
- Tipo de protección: IP65.

Se observa un esquema del motor a elección con los parámetros correspondientes:

**Figura 32**

*Servomotor 40SM-M00330NAL.*

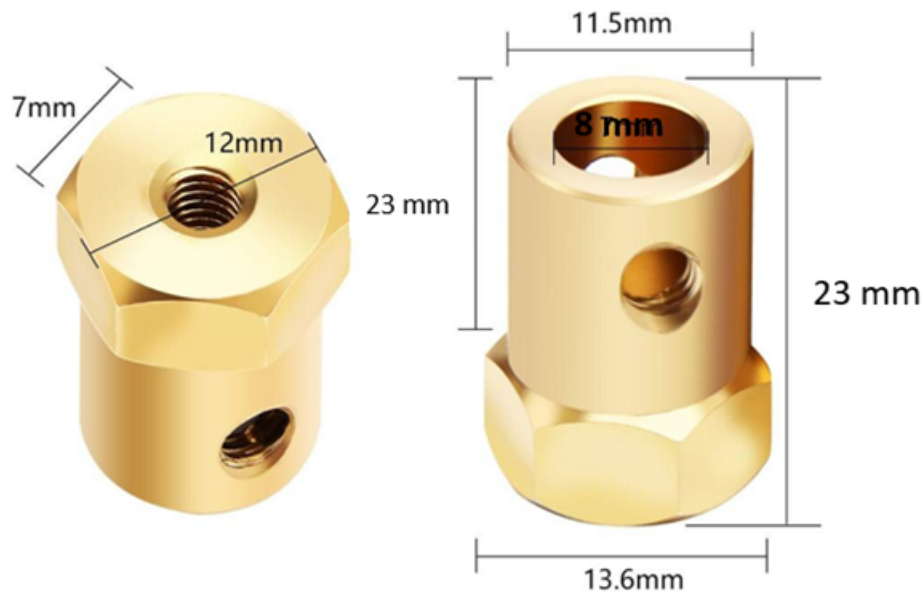


**Nota:** Se hace referencia al esquemático del servomotor (BergerDa, 2019b).

Para la sujeción del motor al sistema piñón - cremallera, es necesario colocar un acople que permita realizar una unión fija para garantizar el movimiento del piñón de tal manera que se consiga un acoplamiento rígido y resistente, es por ello que se opta por un acople de bronce hexagonal que esta específicamente diseñado para la sujeción de motores, este acople ira conectado directamente del eje del motor hacia el piñón, el cual con las siguientes dimensiones como se muestran a continuación:

**Figura 33**

*Acople hexagonal de bronce para eje de motor.*



**Nota:** Se ilustra el tipo de acople que será utilizado para la sujeción del piñón con el eje del motor (Novatronicec, 2020).

### **Parametrización del driver de servomotor**

El driver SDD04NK7D de la marca Bergerda es un tipo de encoder compatible con el modelo y serie del servomotor es esencial debido a que brinda la posibilidad de realizar diversas funciones como el control de posición, velocidad, y torque, posibilitando así una corrección de errores, genera estabilidad en el sistema al realizar acciones inmediatas ante una

condición de perturbación, y lo más importante, permite dimensionar el tipo y tamaño del control para realizar una acción determinada, y por último el driver ejecuta la conexión con el PLC permitiendo una comunicación eficiente, para el control de todo el sistema automatizado; es por ello que sostienen las siguientes características:

- Servo driver: Servo driver universal AC serie SDD04NK7D.
- Funciones de control de velocidad y par de posición, y pueden cambiarse entre sí.
- Equipado con interfaz de comunicación RS485 para control serial múltiple
- Función PLC interna incorporada de 4 puntos, eliminando el PLC en posicionamiento repetido
- Se puede combinar con una gama completa de servomotores de 0,1 KW - 7,5 KW, estándar de motor internacional
- Voltaje de entrada: AC 170 - 253V
- Tipo de control: Control por señal SPWM.
- Encoder: 2500 líneas de datos.
- Modo de control: Control de posición, control de velocidad,
- Método de comando de control: Pulsos externos.
- Frecuencia de división de radio: 1/255.
- Temperatura de trabajo: 0°C - 55°C

Para el funcionamiento correcto del control es necesario de entradas y salidas las cuales se detallan en la tabla 4.

**Tabla 4**

*Detalle de entradas y salidas del servodriver*

<b>DATOS DE ENTRADAS Y SALIDAS</b>	
<b>ENTRADAS</b>	<b>SALIDAS</b>
Habilitación del servomotor.	Servomotor listo.
Alarma de servomotor.	Alarma de servomotor activa.
Borrado del contador de desviación	Señal de salida de Z.
Inhibidor de comando de pulsos	Freno activo.
Posición 0.	
Posición 1.	
Posición del disparador	
Selección de velocidad	

**Nota:** La tabla de recolección de datos de las entradas y salidas del servodriver indican su funcionamiento al realizar la conexión con el servomotor.

**Figura 34**

*Servo driver para servomotor 40SM-M00330NAL.*

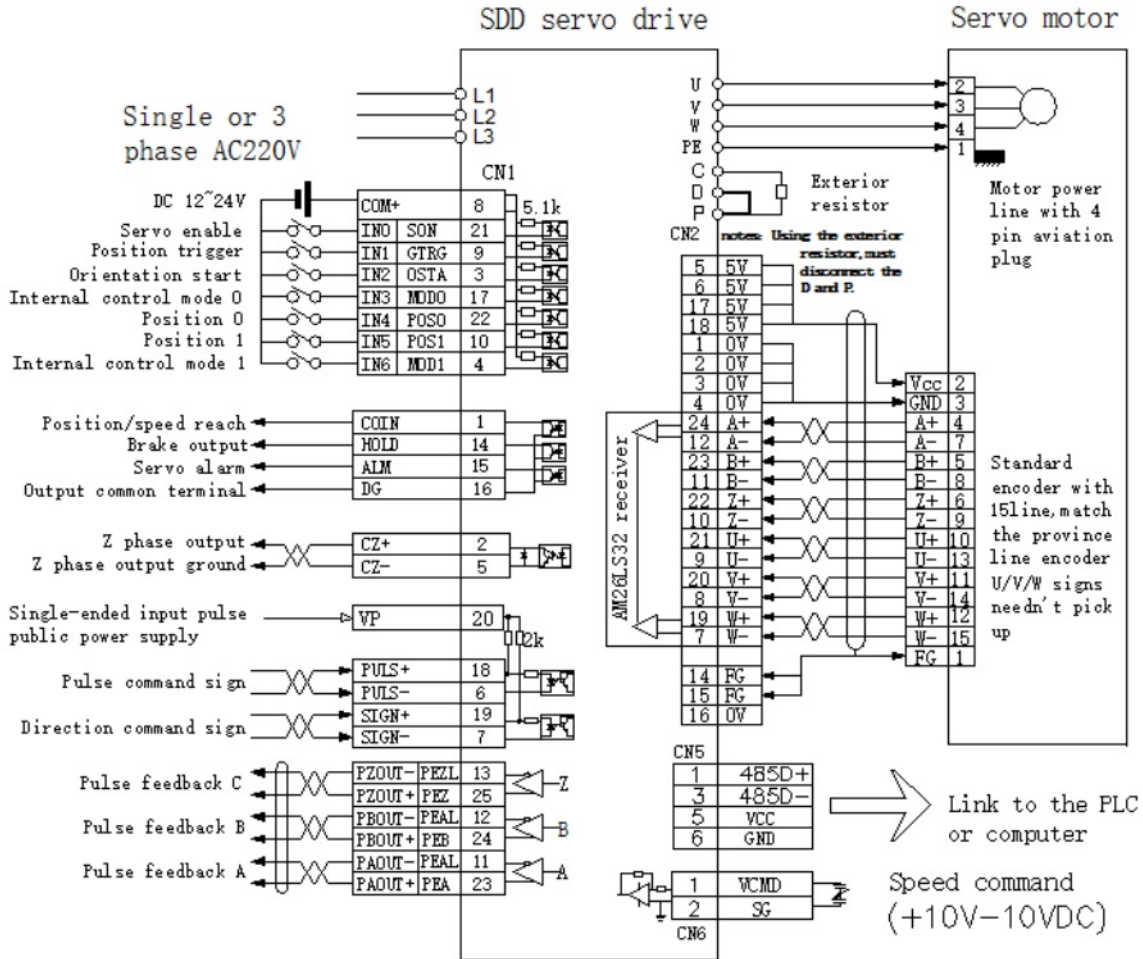


**Nota:** Se hace referencia al diseño del Servo driver de la marca BergerDa para servomotor 40SM-M00330NAL. (BergerDa, 2019a).



**Figura 35**

*Diagrama de entradas y salidas del Servo driver.*



**Nota:** Se hace referencia al diagrama correspondiente de entradas y salidas del Servo driver universal de la marca Bergerda. (BergerDa, 2019a).

### Parametrización del PLC para el control del servomotor

El PLC es necesario para el control debido a que define las operaciones que se deben realizar en función de las condiciones impuestas, y también a través de datos de sensores en tiempo real.

Este dispositivo permitirá controlar secuencias de movimientos en función de posición, velocidad, aceleración y desaceleración del servomotor para la realización de tareas específicas,

también permite el accionar inmediato ante cambios ante situaciones críticas o fluctuantes ajustandose así de manera eficiente al comportamiento del sistema.

El tipo de PLC que se optó por utilizar es el modelo XD3-16RT-E de la marca Xinje Electric, que contiene las siguientes especificaciones:

- Voltaje de entrada: 100 - 240 V.
- Entradas digitales: 8 NPN.
- Salidas digitales: 8 salidas tipo Transistor.
- Lenguaje de programación: Ladder - Lenguaje C.
- Capacidad de programa: 256KB
- Tiempo de procesamiento: 0,05  $\mu$ s
- Temporizadores(T)= 672.
- Contadores(C): 672.
- No. de registro de datos: 11048 palabras.
- Registros de memory flash: 8144 palabras.
- Puntos de memoria: 11008 puntos.
- Puerto 1: conexión RS232 a PC para programación.
- Puerto 2: conexión RS485 a medidores inteligentes.
- Puerto 3: Puerto de comunicación ED extendido.
- Timer: Base en tiempo real.
- Protocolo de comunicación: ModBus, protocolo libre.
- Software de programación: XDPPRO.

Se observa a continuación un diseño referencial del PLC de la marca Xinje. El cual permitirá la realización del sistema de control de manera robusta para la industria.

### **Figura 36**

*Dispositivo PLC Xinje XD3-16RT-E.*



**Nota:** Se observa el dispositivo de control para el avance del sistema piñón-cremallera que será guiado por el servomotor. (Xinje, 2018).

### **Sensor de fin carrera para el inicio y final del proceso de soldadura**

Para realizar la activación y desactivación del sistema que conlleva el proceso de soldadura es necesario contar con un accionamiento automático, por lo cual se procede a la selección de un sensor de final de carrera para ejecutar la señal digital correspondiente, es por ello que se opta por el sensor Limit Switch ME 81-08 interruptor de límite final de carrera, debido a las características que serán mencionadas.

- Tensión nominal: 250 VAC - 5 A / 115 VDC - 0.4A.
- Contacto: 2NC + 2NO.
- Longitud de brazo de actuador: 104mm.

- Duración aproximada: 10 millones de ciclos.
- Protección: IP64 contra polvo y aceite.
- Dimensiones: 12,3x50mm.
- Peso: 86g.

**Figura 37**

*Sensor Limit Switch ME 81-08*



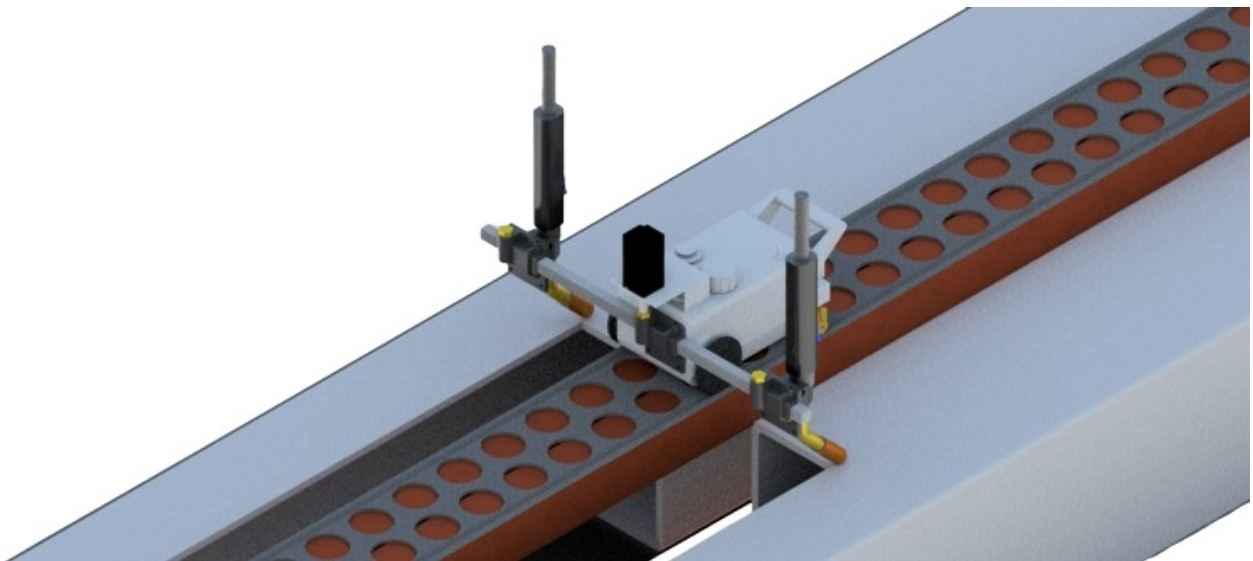
**Nota:** Se observa el dispositivo de control para la activación y desactivación del sistema de soldadura. (Roboticsec, 2023).

## 8.2. Diseño mecánico de la máquina automatizada para soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural

Al realizar la elección de materiales y herramientas, es necesario obtener un ensamble virtual de los componentes involucrados en el proceso de soldadura, por lo tanto se realiza un prototipo virtual dentro del software de simulación denominado Solidworks, el cual permite el diseño, ensamble y simulación del proceso de la máquina proyectada.

### Figura 38

*Ensamble general de la máquina automatizada para soldadura lineal tipo MIG.*

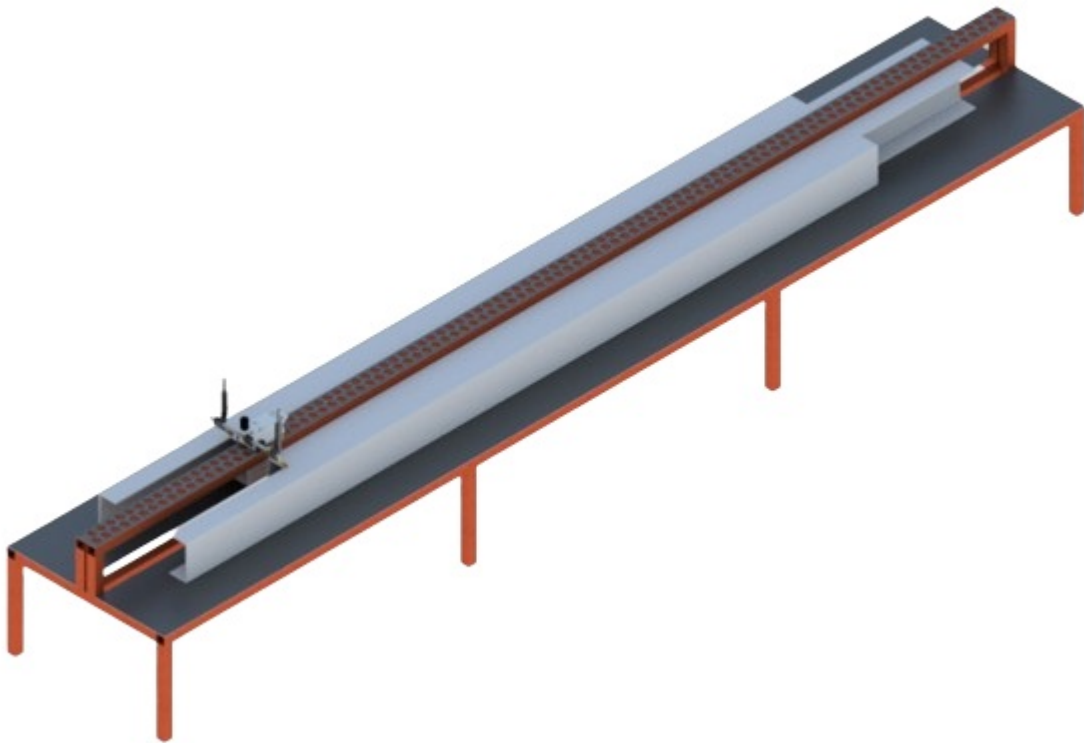


**Nota:** Se observa el diseño de la máquina automatizada para soldadura lineal tipo MIG.

A continuación se observa el ensamble general con una proyección para obtener una visión mas clara de como se realizaría la implementación del proyecto de titulación.

**Figura 39**

*Ensamble completo de la máquina automatizada para soldadura lineal tipo MIG para perfiles tipo U.*



**Nota:** Se observa el diseño completo de la máquina automatizada para soldadura lineal tipo MIG dentro del software de diseño.

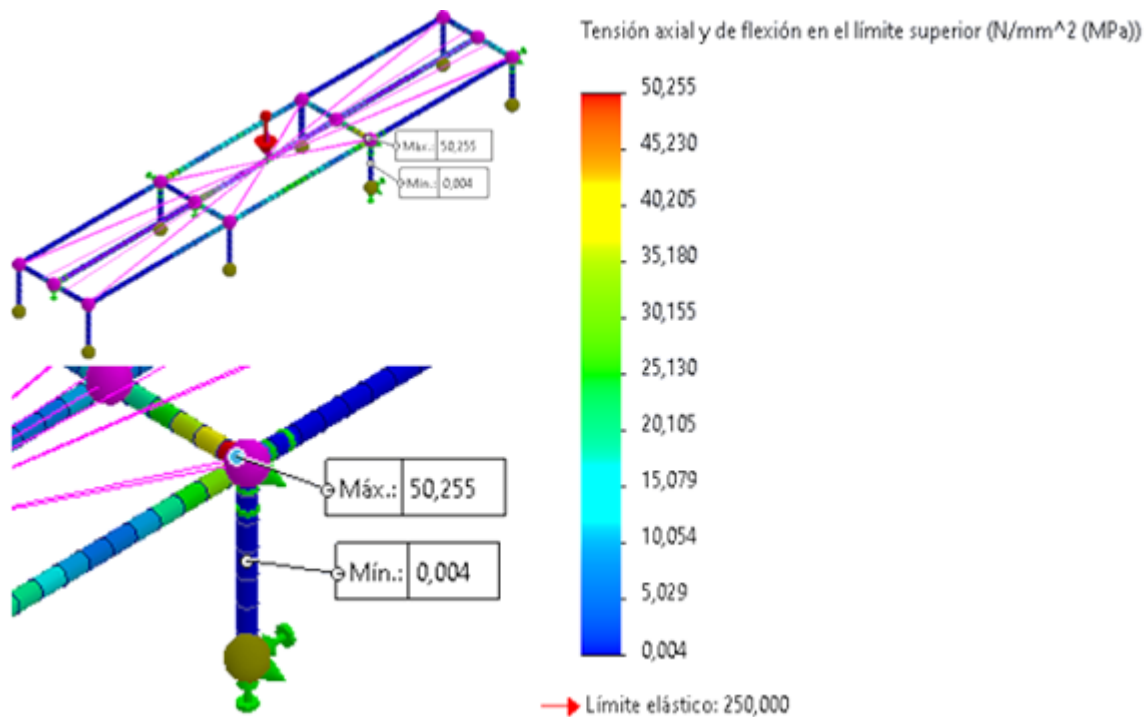
### 8.3. Resultados de la simulación del diseño mecánico y de control de una máquina automatizada para soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural

Se procede con el análisis de elementos finitos, el cual es fundamental en este proceso de diseño, brindando un soporte y una verificación del comportamiento de ciertos componentes o estructuras, permitiendo garantizar la integridad y seguridad del proyecto, contrastando los resultados con los obtenidos de manera analítica.

Se observa a continuación el estudio estático de la estructura base que soporta el mecanismo de soldadura, y el material a soldar, iniciamos con la representación del esfuerzo máximo realizado por los tubos de acero estructural, obteniendo el siguiente resultado de 50,255MPa:

**Figura 40**

*Esfuerzo máximo realizado por la estructura.*



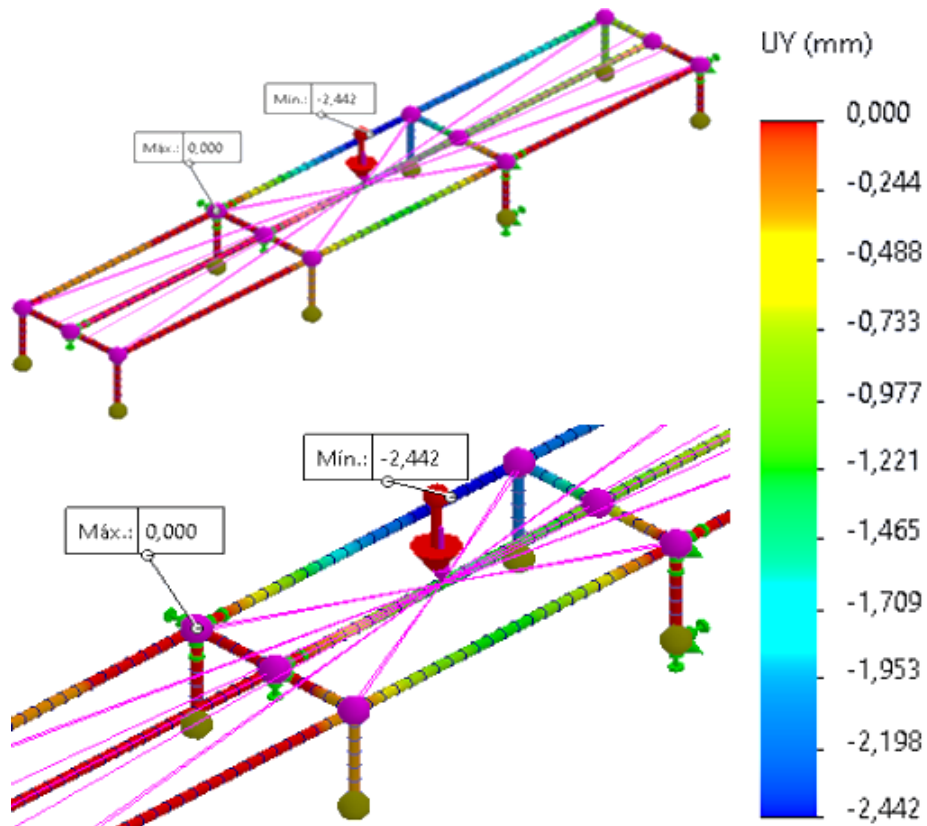
**Nota:** Se observa el esfuerzo máximo y mínimo obtenido a través de la simulación en el software.

Para la realización de los estudios estáticos fue necesaria la aplicación del software de simulación Solidworks, el cual es un software de diseño CAD en 2D Y 3D, para modelar piezas, ensambles, sistemas, entre otros, que permiten realizar el desarrollo de producto o proceso, posibilitando el manejo de una interfaz sencilla para la creación, diseño, simulación, fabricación, y gestión de cada parte del proceso de un proyecto.

Es necesario realizar el análisis de la deformación producida por la carga que la estructura va a soportar, debido a que al tratarse de un proceso que necesita precisión, es imprescindible conocer esta variación para conseguir una calibración óptima de la maquinaria, por lo tanto se observa una deformación de -2,44mm, apreciada en la siguiente imagen:

**Figura 41**

*Deformación máxima de la estructura ante la presencia de una carga externa.*



**Nota:** Se ilustra la simulación de la deformación máxima de la estructura ante el accionar de la carga estática.



Se observan resultados favorables tanto para el esfuerzo máximo como para la deformación, evitando llegar a un fallo del material, debido a sus propiedades mecánicas, a continuación se observa una comparativa acerca de los resultados obtenidos.

**Tabla 5**

*Comparación de resultados obtenidos.*

COMPARATIVA DE RESULTADOS		
DATOS OBTENIDOS	R. ANÁLITICOS	R. SIMULACIÓN
Esfuerzo máximo	53,81 MPa	50,255 MPa
Deformación máxima	- 2,44 mm	-2,442 mm

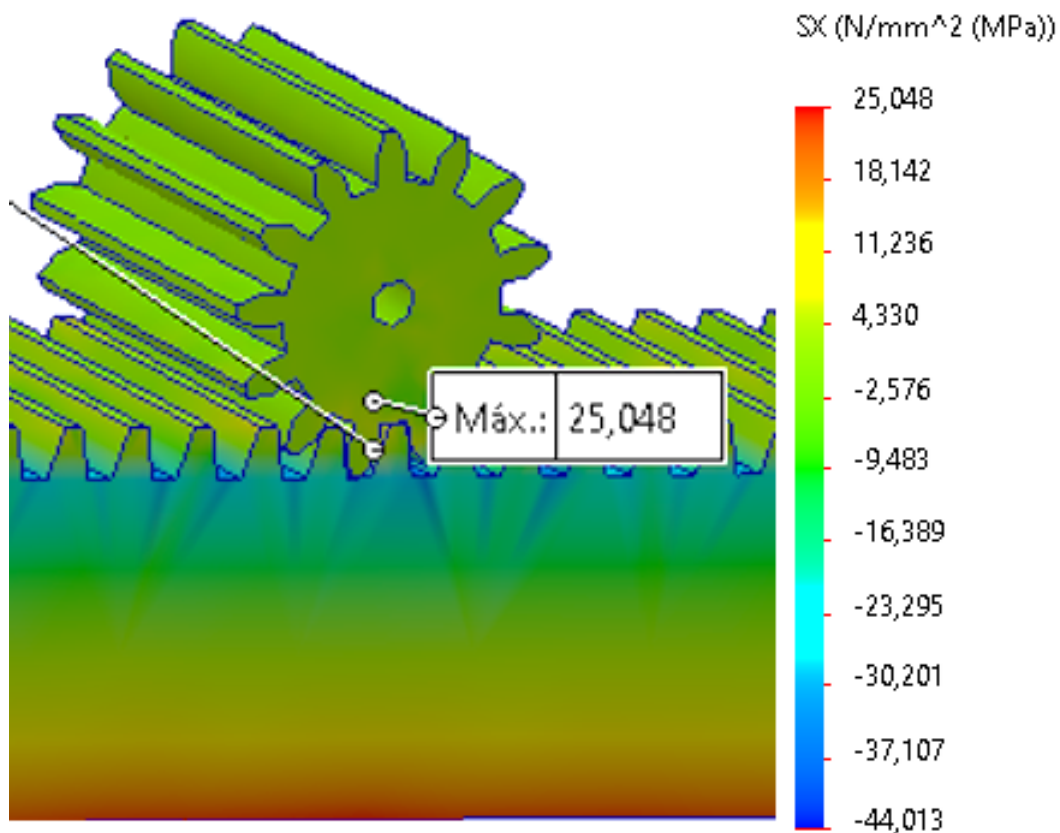
**Nota:** La tabla de comparación de resultados obtenidos analíticamente y mediante simulación reflejan una similitud coherente.

En la tabla anterior se observa que los datos que han sido calculados de forma analítica concuerdan con los realizados mediante una simulación en el software de diseño, generando una diferencia del 7% en el estudio del esfuerzo máximo, lo cual indica una veracidad de los hechos, así mismo la deformación máxima calculada genera - 2,44 mm, mientras que el análisis mediante el software muestra una deformación de - 2,442 mm, permitiendo verificar la veracidad de los resultados obtenidos, con los cuales se observa que el proyecto es viable.

Se realiza el análisis de esfuerzo máximo del sistema piñón cremallera, el cual dictamina la traslación para la generación del movimiento en zig zag del proceso de soldadura, basándose en el límite elástico que consigue soportar el material de acero inoxidable AISI 304 del cual esta fabricado el piñón cremallera. Con ello se obtienen el siguiente resultado de 25,049 MPa, con una carga externa soportada de 5,5 Kg, como se muestra en la siguiente ilustración.

**Figura 42**

*Deformación máxima del sistema piñón cremallera.*



**Nota:** Se analiza la imagen acerca de la deformación máxima en simulación, del sistema piñón cremallera.

Basandose en el tipo de material del que esta manufacturado el sistema piñón - cremallera, se afirma que la carga soportada no afecta al límite elástico del mismo, soportando de manera eficaz las cargas externas. Este tipo de mecanismo soporta las cargas empleadas, debido a que como se mencionó anteriormente el esuferzo máximo se rige por 206,807; mientras que la simulación indica el valor de una deformación máxima de 25.048 MPa.

## **Resultados de la Propuesta de Control**

Para el Control se desarrolló la programación del PLC en el software XDPPRO, en donde se realizó la secuencia de la puesta en marcha del servomotor, para lo cual se toman en cuenta los requisitos de diseño, en donde se necesita cubrir una distancia de 3 cm, considerando que en el sistema piñón - cremallera por cada vuelta completa o  $360^\circ$  existe un desplazamiento lineal de 4,33 cm, por lo que se determina que para cubrir la distancia requerida, el piñón solo tiene que rotar  $250^\circ$ .

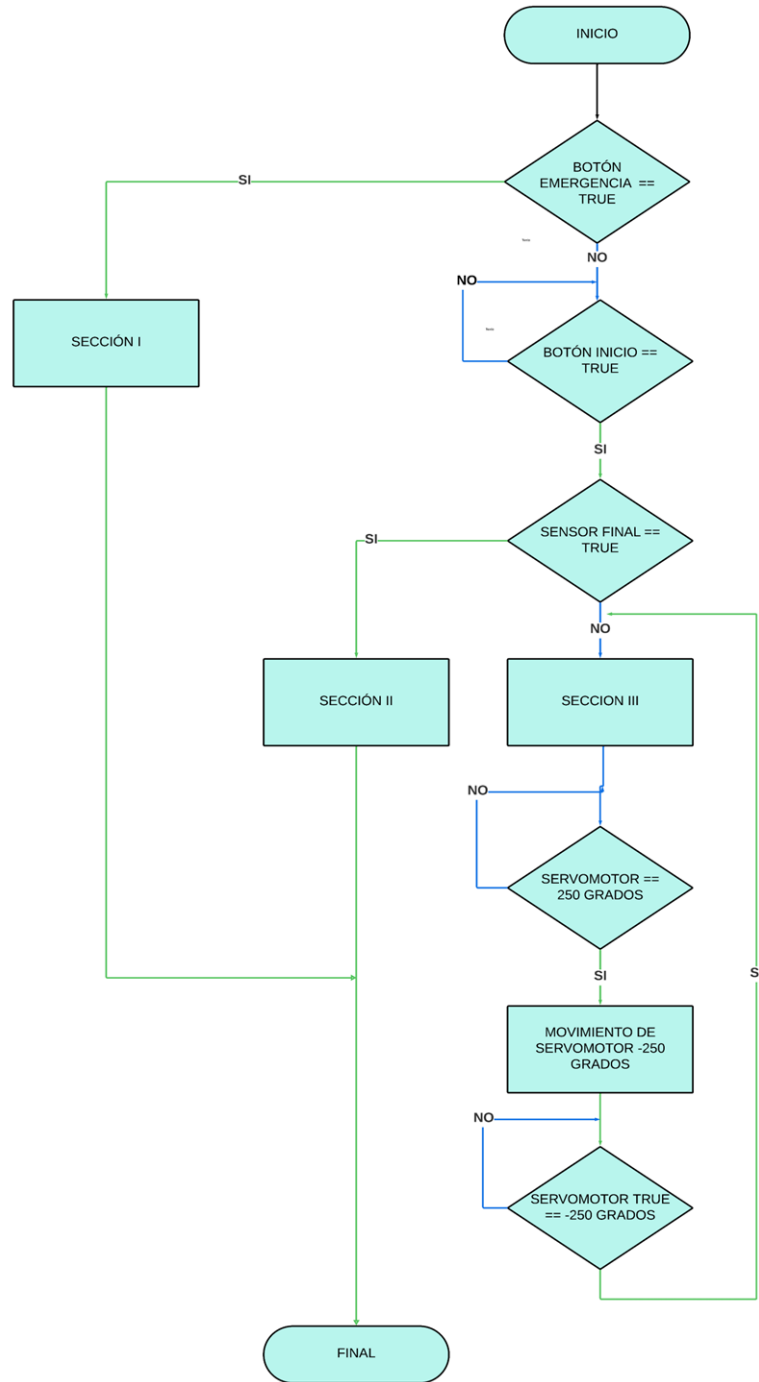
Para que el servomotor gire los grados requeridos se encuentra la relación de pulsos y grados, donde 10000 pulsos son  $360^\circ$  según la documentación del dispositivo, por lo tanto, para que el servomotor gire  $250^\circ$  se necesitan 6944 pulsos.

Una vez se ha realizado la parametrización de la cantidad de pulsos, se añaden tres indicadores, en donde, el indicador verde significa que la máquina esta en funcionamiento y se esta realizando el proceso de soldadura mediante el movimiento del sistema piñón - cremallera producido por el servomotor, una vez se ha finalizado el proceso se accionará el indicador amarillo, así mismo se ha implementado un paro de emergencia, que al activarlo, detiene la el funcionamiento de los sistemas encendiendo un indicador rojo.

Se ejemplifica la programación realizada mediante un diagrama de flujo que se muestra en la figura 43, además, se muestra en la figura 51 del anexo D el diagrama eléctrico de la conexión entre el servomotor y el PLC.

**Figura 43**

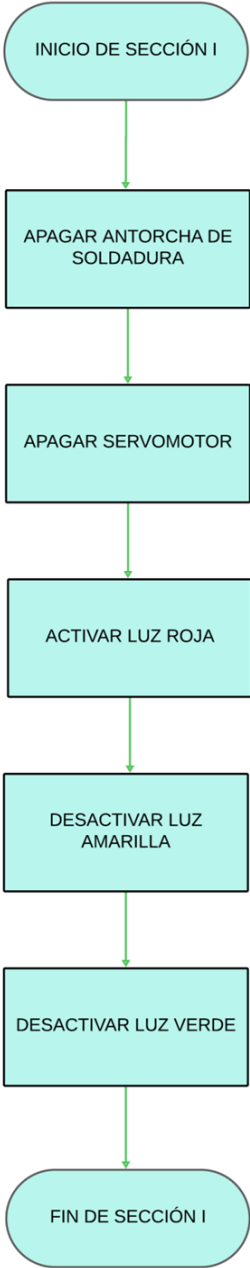
*Diagrama de flujo de la programación.*



**Nota:** Se ilustra el diagrama de flujo de la programación de la máquina para soldadura.

**Figura 44**

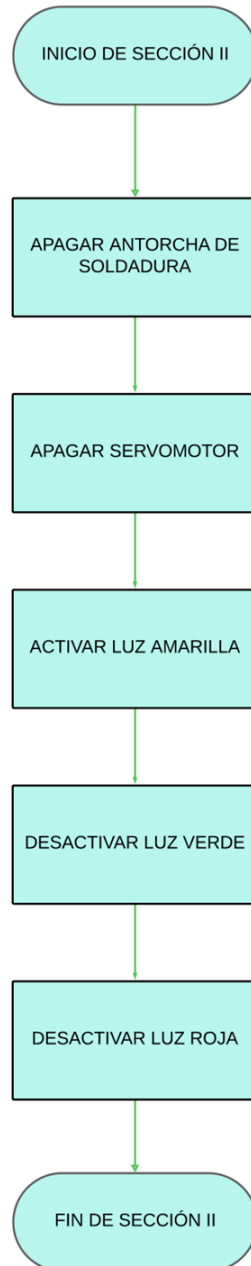
*Sección I de diagrama de flujo de la programación.*



**Nota:** Se ilustra la sección I del diagrama de flujo de la programación de la máquina para soldadura.

**Figura 45**

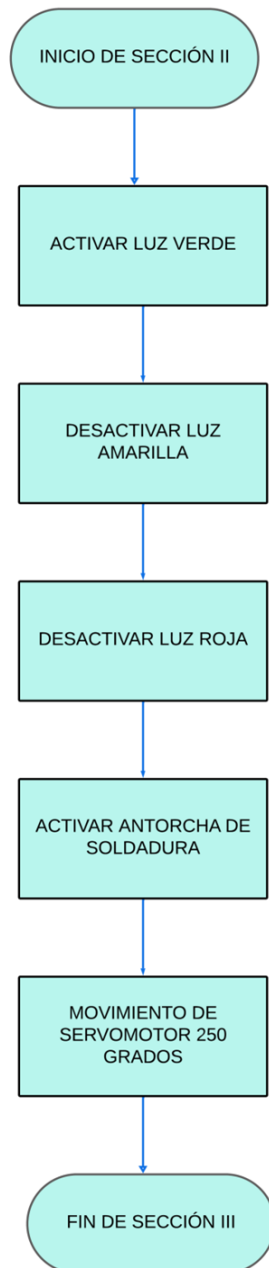
*Sección II de diagrama de flujo de la programación.*



**Nota:** Se ilustra la sección II del diagrama de flujo de la programación de la máquina para soldadura.

**Figura 46**

*Sección III de diagrama de flujo de la programación.*

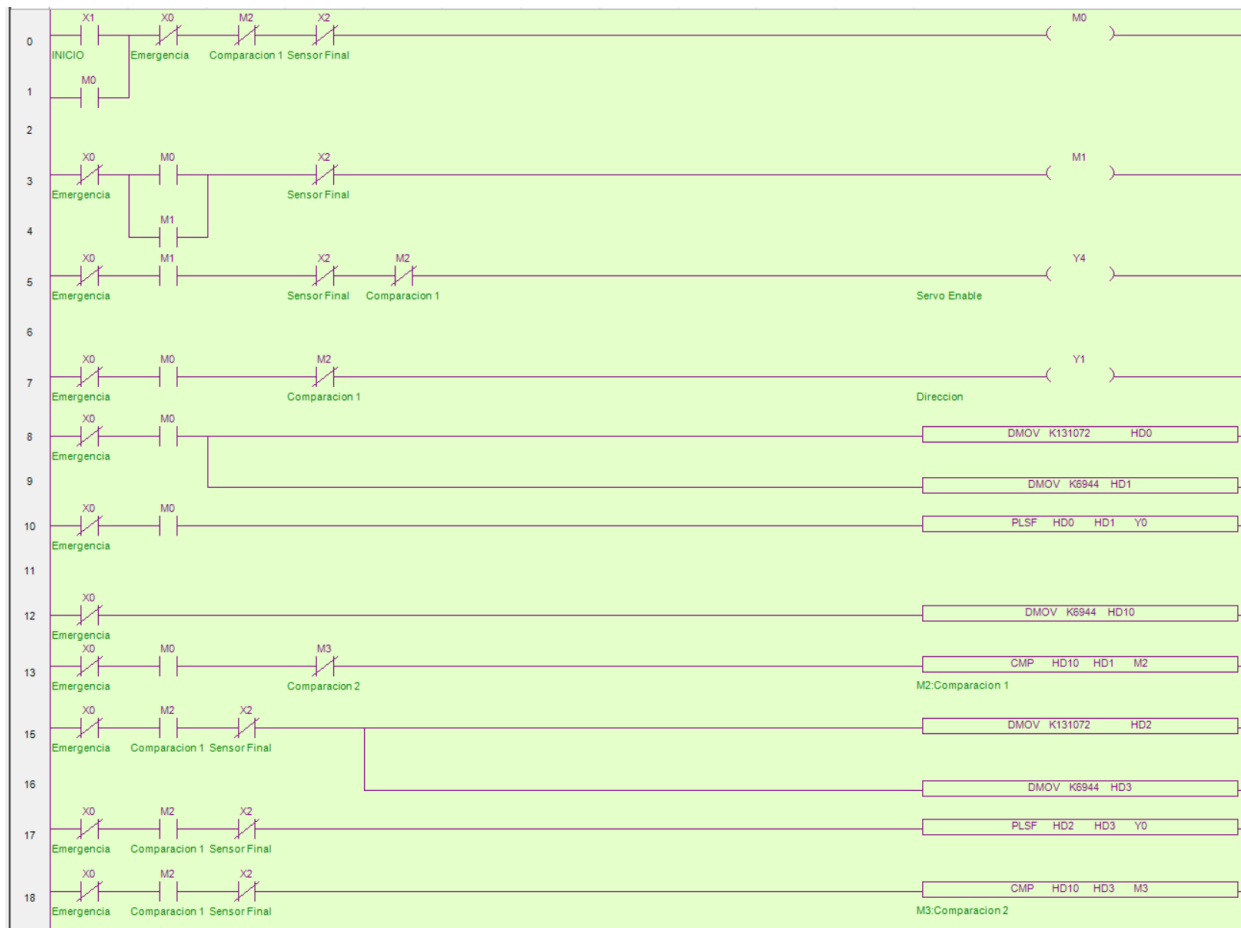


**Nota:** Se ilustra la sección III del diagrama de flujo de la programación de la máquina para soldadura.

Como resultado se obtiene el bloque de programación principal del PLC, con las consideraciones de diseño mencionadas anteriormente para el funcionamiento correcto de la máquina, como se visualiza en la figura 47.

**Figura 47**

*Bloque de programación principal.*



**Nota:** Se ilustra el bloque de programación principal.

Así mismo, se desarrolla el bloque de programación correspondiente a los indicadores de proceso de la máquina, como se observa en la figura 48.



**Figura 48**

*Bloque de programación de indicadores.*



**Nota:** Se ilustra el bloque de programación de indicadores de proceso.

### **Resultados de los costos de producción**

Se realiza un análisis del costo de cada tipo de proceso de soldadura, sin embargo, existen costos necesarios para poder realizar este proceso los cuales generan un valor que no se puede modificar, por ende se detallan en el párrafo anterior como gastos comunes, si bien es cierto también que el valor del proceso de soldadura automatizada solamente mantiene ese precio durante el proceso de realización del proyecto, ya que al finalizar, solamente se tomarían en cuenta los costos de \$2989,60 como valor final para una estimación mensual, siendo una opción bastante rentable a pesar del costo de inversión inicial.

**Tabla 6**

*Recolección de costos por mes del proceso de soldadura.*

DATOS DE ANÁLISIS DE COSTOS			
COSTO MENSUAL	S. MANUAL	S. AUTOMATIZADA	S.EXISTENTE
Mano de obra para operación	\$5,120	\$2,180	\$2,180
Energía	\$480	\$400	\$400
Seguro social del personal	\$587,80	\$234,60	\$234,60
Certificación de soldador	\$266,66	\$80	\$80
Equipos de protección personal	\$150,30	\$95	\$95
Costo total	\$6604,76	\$2989,60	\$2989,60

**Nota:** La tabla de recolección de datos expresa los costos referenciales para el cambio entre una soldadura manual, una soldadura automatizada, y una máquina ya preexistente en el mercado.

En comparación, la soldadura automatizada con la máquina ya existente de soldadura, si bien mantienen valores de costos similares, su diferencia principal radica en la cantidad de producción mensual ya que la propuesta de diseño se basa en una fabricación doble, mientras que la máquina preexistente solamente consigue realizar una soldadura unitaria. es por ello que se prevee una mejora considerable dentro del tiempo de producción, además, se debe tomar en cuenta que para la puesta en marcha de la máquina comercial es necesario preveer los costos y tiempos de importación, así como también la construcción de un soporte fijo que sea adecuado para el accionar de esta sobre los perfiles tipo U.

## 9. Conclusiones

En conclusión, fue necesario establecer ciertos parámetros para el diseño de la máquina automatizada de soldadura MIG, para así conseguir asegurar un rendimiento eficiente y una calidad consistente en la soldadura de perfiles tipo U de acero. Un análisis detallado de ciertos componentes como la velocidad de soldadura, la corriente eléctrica, el gas de protección a emplear y la distancia de contacto del alambre. Por ello es necesario realizar pruebas de campo para así obtener una calibración que contribuirá a maximizar la eficiencia del proceso y minimizar la posibilidad de defectos en las soldaduras.

La propuesta de diseño de la máquina automatizada debe considerar aspectos como la precisión en el seguimiento del perfil tipo U al cual se le realizó el proceso de soldadura, también debe existir una correcta estabilidad del arco durante la soldadura, sin despreciar la capacidad de adaptarse a variaciones en las dimensiones de los perfiles. Se obtiene un diseño robusto que integre un sistema de control ajustable y sencillo que permitirá una ejecución precisa y consistente de la soldadura, mejorando la productividad y reduciendo la necesidad de ajustes manuales.

Se establece un sistema de control acoplando el servomotor al sistema piñón - cremallera y realizando la programación de acuerdo a los parámetros de diseño otorgados por la empresa, permitiendo desarrollar la programación con el recorrido necesario, garantizando la precisión en el proceso de soldadura. Así como también se desarrolló un sistema de control que sea robusto, con las protecciones que son indispensables para así evitar daños en los subsistemas, como drivers, sensores, servomotor, entre otros.

Se consigue realizar un análisis de recursos y costos reales que fueron esenciales para tomar una decisión respecto a si existe o no una viabilidad económica de la propuesta de diseño. Esto incluye la inversión inicial en hardware y software, los costos operativos mientras se cumple el ciclo de vida de la máquina, y la comparación con los beneficios entre distintas configuraciones del proceso de soldadura, centrados en obtener una mejoría constante de la eficiencia y calidad de las soldaduras. Un análisis minucioso permitirá tomar decisiones informadas sobre la implementación de la propuesta de diseño de la máquina, considerando tanto los aspectos técnicos como los económicos. Generando así una factibilidad positiva del proyecto para una futura implementación.

## **10. Recomendaciones**

Se recomienda la incorporación de sensores más avanzados, como cámaras de visión o sensores ya sea inductivos o láser, para realizar una monitorización continua de la alineación y posición de los perfiles tipo U durante el proceso de soldadura. Estos sistemas generarán una retroalimentación en tiempo real, mejorando la precisión y adaptabilidad de la máquina ante las posibles variaciones en las dimensiones de los perfiles o desalineaciones durante la producción de las columnas de acero.

Es recomendable, realizar una mejora dentro del proceso, al implementar distintos tipos de cordones de soldadura, así como también el tipo de proceso ya que no solamente se lo realiza de manera continua, sino también intermitente, que podría darse una vez que se generan nuevos programas dentro del PLC para una mejora de gestión, por último sin despreciar que se podría expandir más el proceso de soldadura al utilizar otro tipo de materiales con distintas medidas, consistencias y propiedades mecánicas.

## Referencias

- Acero inoxidable aisi 304*. (2021). [Recuperado de: <https://grumeber.com/acero-inoxidable-aisi-304/> ; Accedido el: 05 de Febrero del 2024].
- American Institute of Steel Construction. (2010). *Steel construction manual* (14th ed.). American Institute of Steel Construction.
- American Welding Society (AWS) Structural Welding Committee D1.1. (2020). *Structural welding code - steel: Vol. 3. aws d1.1 d1.1m (24a ed.)*. American Welding Society. (Obra original publicada en 1971)
- Aotai Electric Co., LTD. (2021, 19). *Aotai amig350pm*. [Recuperado de: <https://es.aotaiwelding.com/products/welder/gmaw/amig350pm.html>; Accedido el: 10 de Octubre del 2023].
- ASCE/SEI. (2016). *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures (asce/sei 7-16)*. American Society of Civil Engineers.
- BergerDa. (2019a). *Product 596*. [Recuperado de: <https://en.bergerda.com/product/596.html>.
- BergerDa. (2019b). *Product 606*. [Recuperado de: <https://en.bergerda.com/m/product/606.html>.
- Bohnart, E. R. (2017). *Welding: Principles and practices*. McGraw-Hill Education.
- Bowditch, W., Bowditch, K., y Bowditch, M. (2017). *Welding technology fundamentals*. Goodheart-Wilcox Publisher.
- Budynas, R. G., y Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de shigley* (8th ed.). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Cheng, J. (2018). *Construction technology for building design and construction professionals*. CRC Press.
- DIPAC. (2023). *Tubo estructural cuadrado negro*. [Recuperado de: <https://dipacmanta.com/producto/tubos/tubo-estructural/tubo-estructural-cuadrado-negro/> ; Accedido el: 28 de Noviembre del 2023].
- Dipac Manta. (2023). *Perfiles estructurales: Correa c [catálogo de productos]*. Manta, Ecuador: Dipac Manta. [Recuperado de: [dipacmanta.com/producto/perfiles/perfiles-estructurales/canal-u/](https://dipacmanta.com/producto/perfiles/perfiles-estructurales/canal-u/); Accedido el: 29 de mayo del 2023].
- Dismetal. (2016, 30). *Dismetal - 1220 x 2440*. [Recuperado de: <https://dismetal.ec/productos/planchas/laminadas-en-caliente/1220-x-2440>; Accedido el: 8 de Noviembre del 2023].
- Disoloxi. (2023). *Consumibles mig mag mb-25*. [Recuperado de: <https://www.disoloxi.com/industrial/antorchas-y-consumibles/mig-mag->

- 2/consumibles-mig-mag-mb-25.html ; Accedido el: 01 de Febrero del 2024].
- El equipo de marketing. (2023, 13). *Alambres macizos de acero para soldadura mig*. [Recuperado de: <https://tecnologiasensoldadura.com.mx/alambres-macizos-de-acero-para-soldadura-mig/>; Accedido el: 8 de Noviembre del 2023].
- Equipos de soldadura*. (2022). [Recuperado de: <https://hersolecuador.com/categoria-producto/equipos-de-soldadura/> ; Accedido el: 03 de Febrero del 2024].
- European Committee for Standardization. (2017). *EN 1993-1-1: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*. CEN.
- FANUC Europe Corporation. (2023). *Soldadura por arco*. [Recuperado de: <https://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%C3%A1gina-filtro-robots/soldadura-por-arco>; Accedido el: 29 de mayo del 2023].
- Fattuhi, N. I., y Amara, M. E. (2020). Comparative analysis of steel and concrete structures in the construction sector international journal of civil engineering and technology.
- Forster Welding Systems GmbH. (2023). *Forster welding systems gmbh*. [Recuperado de: [www.directindustry.es/prod/foerster-welding-systems-gmbh/product-21138-1059785.htm](http://www.directindustry.es/prod/foerster-welding-systems-gmbh/product-21138-1059785.htm); Accedido el: 22 de mayo del 2023].
- Fricke, W. (2019). *Welding handbook: Automation and robotics*. American Welding Society.
- Gere, J. M., y Goodno, B. J. (2012). *Mechanics of materials* (8th ed.). Cengage Learning.
- Groover, M. P. (2017). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Pearson.
- Ingenioso. (2022). *Soldadura por arco eléctrico*. [Recuperado de: <https://ingenioso.top/soldadura/soldadura-por-aro-electrico/>; Accedido el: 28 de Octubre del 2023].
- Jeffus, L. (2016). *Welding: Principles and applications*. Cengage Learning.
- Jiangsu Huazhong Roll-Forming Machine Co. (2023). *Automatic corrugated web welding line*. [Recuperado de: [www.jgrollformingmachine.es/steel-structure-machine/2-1-automatic-corrugated-web-welding-line.htm](http://www.jgrollformingmachine.es/steel-structure-machine/2-1-automatic-corrugated-web-welding-line.htm); Accedido el: 29 de mayo del 2023].
- Lancaster, J. F. (2012). *Metallurgy of welding* (1980a ed.). Springer. (1980a ed.) doi: 10.1007/978-94-010-9506-8
- Lazarescu, L. (2012). *Welding and joining of advanced high strength steels (ahss)*. Woodhead Publishing.
- Manual automation direct* (2.<sup>a</sup> ed.). (2023, 03/07). Apéndice A. [Recuperado de: [www.yumpu.com/pt/document/read/67971921/surestepmanualsp-1](http://www.yumpu.com/pt/document/read/67971921/surestepmanualsp-1) ; Accedido el: 28 de Diciembre del 2023].
- Miller Electric Mfg. Co. (2018). *Automation solutions for welding and cutting applications*.

- [Recuperado de: [www.millerwelds.com/equipment/automation-solutions](http://www.millerwelds.com/equipment/automation-solutions); Accedido el: 29 de mayo del 2023].
- Máquina para mecanizado de soldadura - autotrack 50. (2023). [Recuperado de: <https://www.sumig.com/pt/produto/detalhe/maquina-para-mecanizacao-de-soldade-corte-autotrack-50> ; Accedido el: 04 de Febrero del 2024].
- Módulo 1 y 2: Soldadura smaw i y ii. (2024). [Recuperado de: <https://www.cec-epn.edu.ec/cursos/curso/modulo-1-soldadura-smaw-i>; Accedido el: 02 de Febrero del 2024].
- Novatronicec. (2020). *Acople de bronce hexagonal para motor*. [Recuperado de: <https://novatronicec.com/index.php/product/acople-de-bronce-hexagonal-para-motor/>].
- Roboticsec. (2023). *Fin de carrera con rodillo ajustable*. [Recuperado de: <https://roboticsec.com/producto/fin-de-carrera-con-rodillo-ajustable/>].
- SEAS. (2015, agosto). *El sistema piñón-cremallera*. [Recuperado de: <https://www.seas.es/blog/disenomecanico/el-sistema-pinon-cremallera/>].
- Servicios y prestaciones - afiliado - iess. (2022). [Recuperado de: <https://www.iess.gob.ec/en/web/afiliado/servicios-y-prestaciones:text=Afiliado>; Accedido el: 14 de Enero del 2024].
- Soldaduras Industriales S.A.S. (2022, 8). *Tortuga para oxicorte*. [Recuperado de: <https://soldadurasindustriales.com/producto/tortuga-para-oxicorte/>; Accedido el: 24 de Octubre del 2023].
- Sunarc. (2013). *Soldadura mig-mag*. Sunarc. Tecnología en soldadura. [Recuperado de: <http://www.esmijovi.com/descargas/soldadura-MIG.pdf>; Accedido el: 8 de Agosto del 2023].
- Thompson, P. (2019). *Welding: Processes, quality, and inspection*. American Society of Mechanical Engineers.
- Wang, W., Dong, C., y Li, G. (2014). *Experimental and numerical investigation on the behavior of cold-formed steel lipped channel beams subjected to bending* (Vol. 79). [Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2014.02.015>; Accedido el: 29 de mayo del 2023].
- Wuest, T., y Weimer, M. (2013). Cost estimation for robotic arc welding. En *Robotics and automation (icra), 2013 ieee international conference on* (pp. 1127–1134).
- Xinje. (2018). *Plc xd3 series*. [Recuperado de: <https://en.xinje.com/enxjproduct/show-4265.html>].

# **ANEXOS**



# Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 7

Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
máquina automatizada para realizar el proceso de soldadura MIG en perfiles tipo U de acero estructural?	Diseñar una máquina automatizada para realizar el proceso de soldadura lineal MIG en perfiles tipo U de acero estructural.	El diseño de una máquina automatizada para realizar el proceso de soldadura lineal MIG en perfiles tipo U de acero estructural.		Proceso de soldadura lineal MIG.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Es posible determinar los parámetros iniciales que permitan el diseño de una máquina automatizada de soldadura de perfiles tipo U de acero estructural?	Determinar los parámetros iniciales que permitan el diseño de una máquina automatizada para el proceso de soldadura lineal MIG de perfiles tipo U de acero estructural.	Se establecerán los parámetros iniciales que permitan el diseño de una máquina automatizada para el proceso de soldadura lineal MIG de perfiles tipo U de acero estructural.	-VI: Parámetros iniciales. -VD: Diseño.	Parámetros de soldadura lineal MIG.
¿Es factible proponer un diseño de una máquina automatizada para el proceso de soldadura lineal de perfiles tipo U de acero estructural?	Proponer un diseño de una máquina automatizada para el proceso de soldadura lineal MIG de perfiles tipo U de acero estructural.	Se propondrá un diseño de una máquina automatizada para el proceso de soldadura lineal MIG de perfiles tipo U de acero estructural.	-VI: Parámetros iniciales. -VD: Diseño.	Diseño mecatrónico del sistema automatizado.
¿Será posible determinar los costos de la propuesta de diseño de una máquina automatizada para soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural?	Realizar una evaluación de recursos y costos de la propuesta de diseño de una máquina automatizada para el proceso soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural.	Se planteará un análisis de gastos y recursos disponibles para la implementación del diseño de una máquina automatizada para el proceso soldadura lineal MIG de perfiles tipo U de acero estructural.	-VI: Parámetros iniciales. -VD: Diseño.	Diseño de control automático.

**Nota:** La matriz de consistencia presentada facilita identificar la relación que existe entre las variables y los objetivos además, de como se relaciona con el marco teórico referencial.

## Anexo B: Operacionalización de Variables

La tabla 8 presenta la operacionalización de la variable dependiente: cantidad de carga soportada.

**Tabla 8**

*Variable dependiente.*

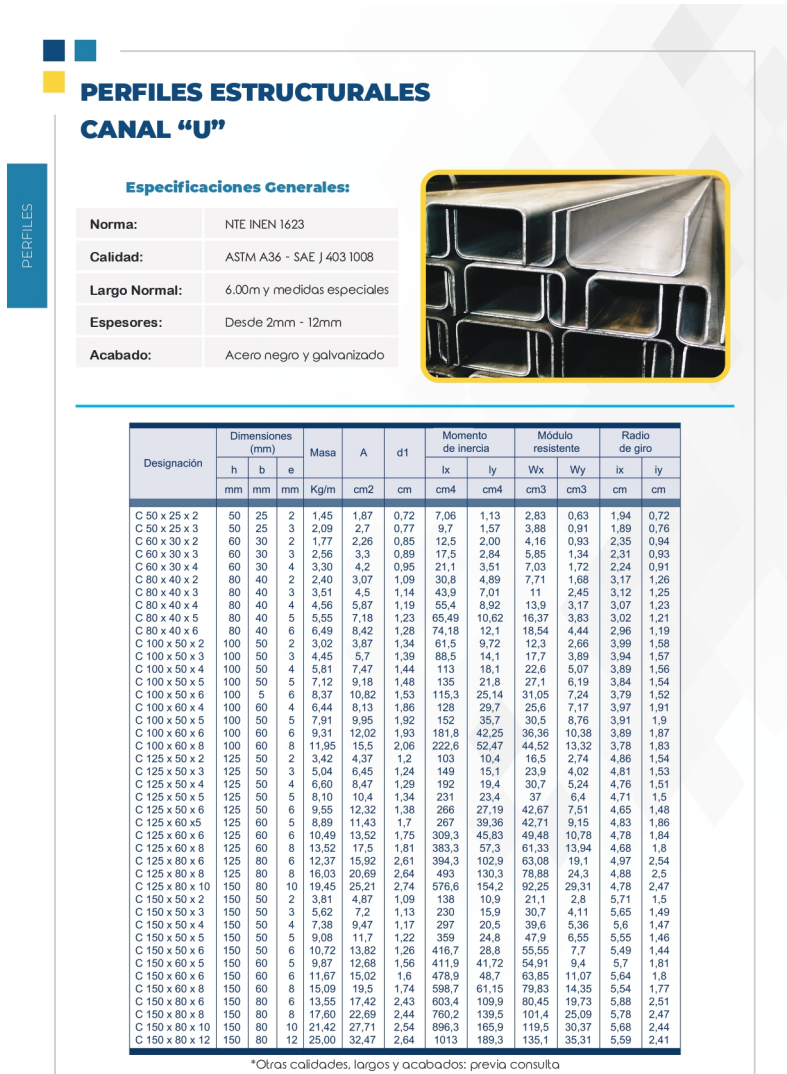
VARIABLE DEPENDIENTE: CANTIDAD DE CARGA SOPORTADO				
Dimensiones	Definiciones	Indicador	Magnitud	Instrumento de medición o Fuente
<b>Cantidad de carga soportada del perfil tipo U soldado</b>	<p><b>Definición conceptual:</b> Permite determinar el valor de carga del perfil tipo U soldado, establecido por condiciones de soldadura determinadas.</p> <p><b>Definición operacional:</b> Es el porcentaje de carga soportado de un perfil U que ha pasado por un proceso de soldadura MIG.</p>	Esfuerzo	Newtons	Máquina de ensayo de tracción

**Nota:** La tabla presenta las definiciones de las dimensiones de la variable dependiente utilizada en la investigación, aplicadas al proceso de soldadura lineal de perfiles tipo U de acero estructural.

# Anexo C: Medidas normalizadas de perfiles tipo U de acero estructural.

Figura 49

Medidas normalizadas de perfiles tipo U de acero estructural.



**Figura 50**

*Medidas normalizadas de perfiles tipo U de acero estructural.*

Continuación del cuadro anterior.

Designación	Dimensiones (mm)			Masa Kg/m	A cm <sup>2</sup>	d1 cm	Momento de inercia		Módulo resistente		Radio de giro	
	h	b	e				Ix	Iy	Wx	Wy	ix	Iy
	mm	mm	mm				cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
C 200 x 50 x 2	200	50	2	4,59	5,87	0,92	316	11,8	31,6	2,88	7,34	1,42
C 200 x 50 x 3	200	50	3	6,80	8,7	0,96	462	17,1	46,2	4,23	7,29	1,4
C 200 x 50 x 4	200	50	4	8,95	11,5	1,0	600	22,1	60	5,52	7,23	1,39
C 200 x 50 x 5	200	50	5	11,05	14,2	1,05	729	26,7	72,9	6,75	7,17	1,37
C 200 x 50 x 6	200	50	6	13,08	16,81	1,09	850,8	31,18	85,08	7,97	7,11	1,36
C 200 x 60 x 5	200	60	5	11,83	15,18	1,34	853,8	45,29	85,33	9,72	7,5	1,73
C 200 x 60 x 6	200	60	6	14,02	18,01	1,39	963,8	53,04	96,37	11,5	7,31	1,71
C 200 x 60 x 8	200	60	8	18,23	23,5	1,53	1219	66,96	121,9	14,96	7,2	1,68
C 200 x 80 x 6	200	80	6	15,91	20,42	2,14	1190	120,8	119	20,61	7,63	2,43
C 200 x 80 x 8	200	80	8	20,74	26,69	2,14	1514	153,9	151,4	26,27	7,53	2,4
C 200 x 80 x 10	200	80	10	25,34	32,71	2,23	1803	183,9	180,3	31,87	7,42	2,37
C 200 x 80 x 12	200	80	12	29,71	38,47	2,32	2060	210,4	206	37,04	7,32	2,34
C 200 x 100 x 6	200	100	6	17,79	22,82	2,78	1416	225,3	141,6	31,19	7,87	3,14
C 200 x 100 x 8	200	100	8	23,25	29,89	2,87	1809	289,6	180,9	40,61	7,77	3,11
C 200 x 100 x 10	200	100	10	28,48	36,71	2,97	2165	348,6	216,5	49,59	7,67	3,08
C 200 x 100 x 12	200	100	12	33,28	43,28	3,07	2485	420,8	248,5	60,72	7,58	3,12
C 250 x 60 x 3	250	60	3	8,45	10,8	1,1	894,5	30,27	71,56	6,18	9,1	1,67
C 250 x 60 x 4	250	60	4	11,15	14,27	1,14	1167	39,31	93,35	8,09	9,04	1,66
C 250 x 60 x 5	250	60	5	13,79	17,68	1,19	1426	47,85	114,1	9,95	8,98	1,65
C 250 x 60 x 6	250	60	6	16,38	21,02	1,23	1674	55,89	133,9	11,72	8,92	1,63
C 250 x 60 x 8	250	60	8	21,37	27,48	1,32	2133	70,52	170,6	15,07	8,61	1,6
C 250 x 80 x 6	250	80	6	18,26	23,42	1,82	2031	129	162,5	21,28	9,31	2,34
C 250 x 80 x 8	250	80	8	23,88	30,69	1,91	2601	164,7	208,1	27,03	9,2	2,31
C 250 x 80 x 10	250	80	10	29,27	37,71	2,00	3119	197,3	249,5	32,88	9,09	2,28
C 250 x 80 x 12	250	80	12	34,42	44,47	2,09	3589	225,8	287,1	38,2	8,98	2,25
C 250 x 100 x 6	250	100	6	20,14	25,82	2,49	2388	241,6	191,1	32,17	8,61	3,05
C 250 x 100 x 8	250	100	8	26,39	33,89	2,58	3069	311,4	245,6	41,96	9,51	3,03
C 250 x 100 x 10	250	100	10	32,41	41,71	2,67	3695	375,8	295,6	51,27	9,41	3,0
C 250 x 100 x 12	250	100	12	38,19	49,27	2,77	4268	450,3	341,5	62,28	9,31	3,02
C 250 x 120 x 10	250	120	10	35,55	45,71	3,40	4272	629,6	641,7	73,21	9,67	3,71
C 250 x 120 x 12	250	120	12	41,96	54,07	3,49	4948	732,6	395,8	86,08	9,57	3,68
C 300 x 80 x 4	300	80	4	13,98	17,87	1,56	2186	93,35	145,8	14,5	11,06	2,29
C 300 x 80 x 5	300	80	5	17,33	22,18	1,61	2685	114,4	179	17,9	11,0	2,27
C 300 x 80 x 6	300	80	6	20,62	26,42	1,65	3165	134,6	211	21,19	10,94	2,26
C 300 x 80 x 8	300	80	8	27,02	34,69	1,74	4072	172,9	271,4	27,62	10,83	2,23
C 300 x 80 x 10	300	80	10	33,19	42,71	1,82	4096	207,7	327,1	33,6	10,71	2,2
C 300 x 80 x 12	300	80	12	39,13	50,47	1,91	5673	237,5	378,2	39	10,6	2,17
C 300 x 100 x 6	300	100	6	22,50	28,82	2,26	3684	254,6	245,6	32,89	11,3	2,97
C 300 x 100 x 8	300	100	8	29,53	37,89	2,35	4754	328,6	316,9	42,95	11,2	2,94
C 300 x 100 x 10	300	100	10	36,33	46,71	2,44	5748	397,3	393,2	52,55	11,09	2,91
C 300 x 100 x 12	300	100	12	42,90	55,3	2,53	6670	459	445	61,5	11,0	2,88
C 300 x 120 x 10	300	120	10	39,47	50,71	3,11	6590	667,5	439,3	75,09	11,4	3,63
C 300 x 120 x 12	300	120	12	46,67	60,07	3,21	7664	777,8	510,9	88,49	11,3	3,6
C 300 x 150 x 10	300	150	10	44,18	56,71	4,21	7851	1251	523,4	115,3	11,77	4,7
C 300 x 150 x 12	300	150	12	52,32	67,27	4,31	9157	1465	610,4	137	11,87	4,87

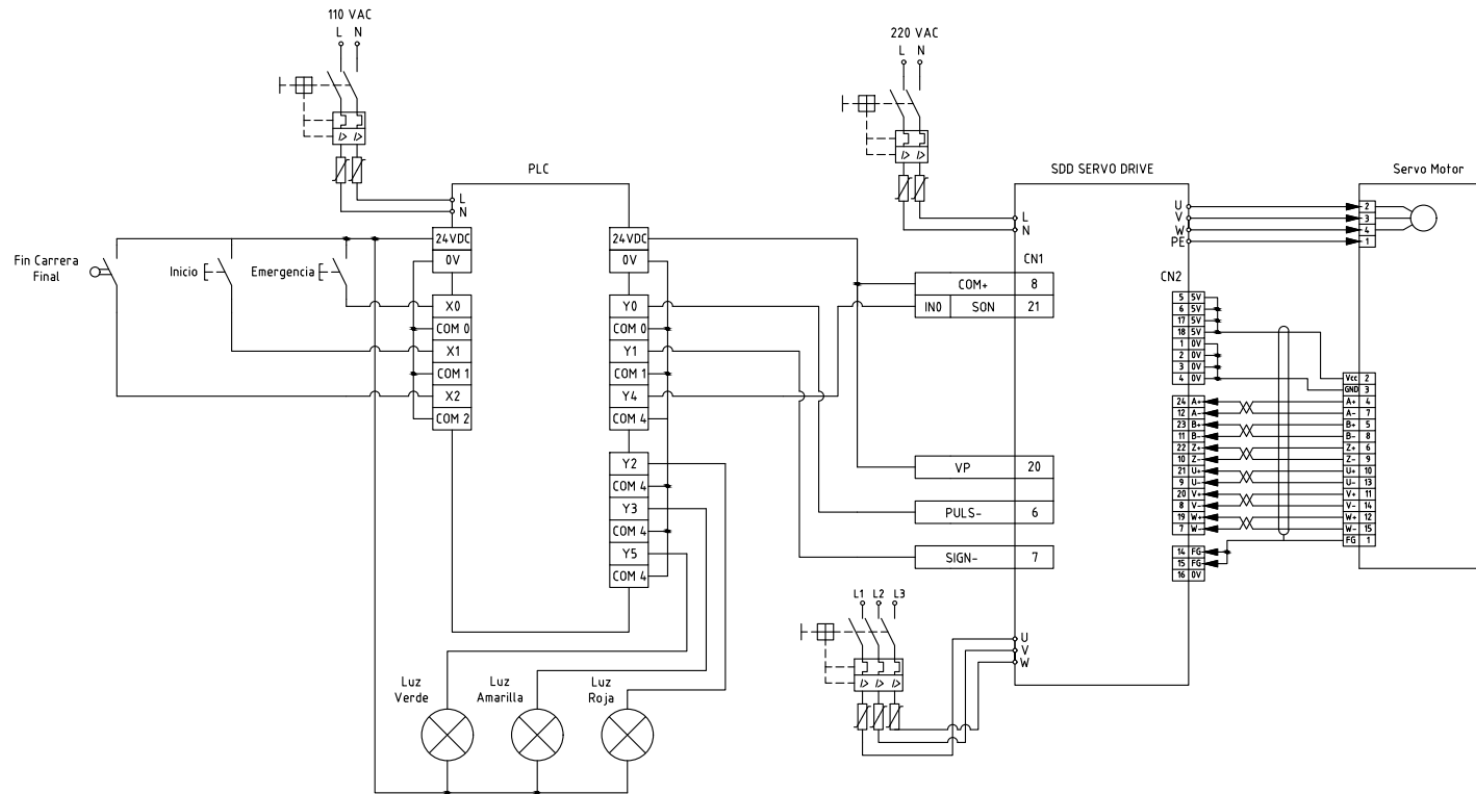
Dimensiones exteriores a la sección transversal.  
 Radio de curvatura interior igual a 1,5e para espesores menores a 6,00 mm  
 Radio de curvatura interior igual a 2e para espesores de 6,00 mm o mayores

**Nota:** Se puede observar las medidas normalizadas de perfiles tipo U de acero estructural, de acuerdo a Dipac Manta (2023).

# Anexo D: Esquema eléctrico de control.

Figura 51

Se observa el esquema eléctrico de control del movimiento de la máquina automatizada.



**Nota:** Se puede observar el esquema eléctrico realizado para las respectivas conexiones.

## **Anexo E: Cronograma de actividades**

**Tabla 9**

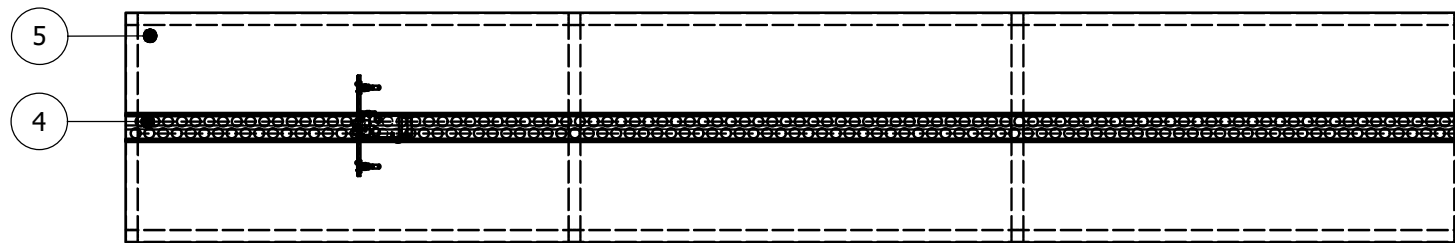
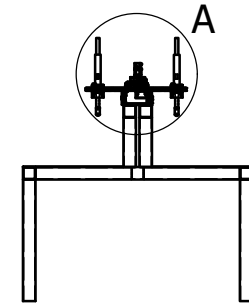
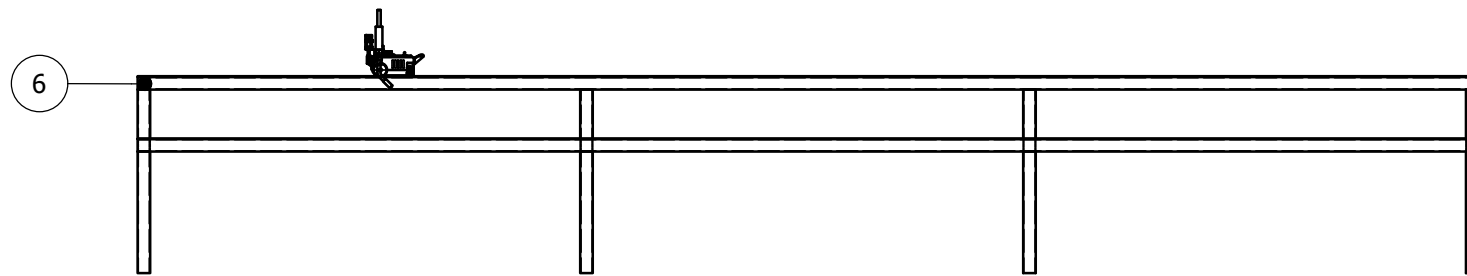
*Cronograma de actividades.*

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																										
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				HORAS
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Establecer los parámetros iniciales de diseño de una máquina automatizada para la realización del proceso de soldadura lineal MIG en perfiles tipo U de acero estructural.	Indagación Bibliográfica.	X	X																							15
	Primer acercamiento y recolección de datos de la empresa.	X	X																							10
	Análisis de datos recolectados.			X	X																					10
	Establecimiento de las condiciones iniciales de diseño.				X	X	X																			10
Proponer un diseño de una máquina automatizada para el proceso de soldadura lineal MIG de perfiles tipo U de acero estructural	Elaboración del diseño mecánico.						X	X	X	X																30
	Elaboración del diseño electrónico.								X	X	X															25
	Elaboración del diseño de control.									X	X	X	X													30
	Revisión de los diseños elaborados.												X	X	X											15
	Depuración de los diseños elaborados.													X	X											10
	Evaluación del sistema mecánico mediante software.															X	X	X								10
	Evaluación del sistema electrónico mediante software.																X	X	X							10
	Evaluación del sistema mecatrónico.																X	X	X							15
Realizar una evaluación de recursos y costos a través del uso de las técnicas VAR y TIR de la propuesta de diseño de una máquina automatizada para el proceso de soldadura lineal MIG para perfiles tipo U de acero estructural.	Evaluación de costos relacionados con los materiales que se utilizarán.																				X	X			5	
	Análisis de costos de implementación del diseño propuesto.																					X	X		3	
	Comparación de costos de implementación del diseño propuesto con los costos de una máquina que realiza procesos similares ya existente.																						X	X	2	
	Redacción de documento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	40
<b>Total de horas empleadas</b>																							<b>240</b>			

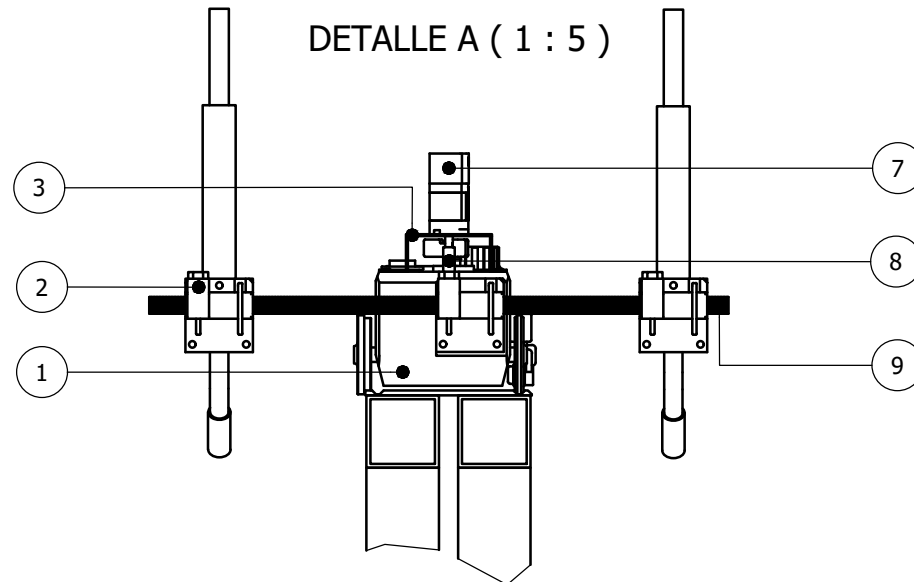
**Nota:** La tabla presenta las actividades para cumplir con los objetivos planteados.

**Anexo F: Planos estructurales de la máquina automatizada para soldadura lineal tipo MIG.**





DETALLE A ( 1 : 5 )



9	1	Sistema piñón - cremallera	Acero inoxidable	AISI 304	
8	1	Acople piñón - servomotor	Bronce	ASTM B584	
7	1	Servomotor 40SM-M00330NAL			
6	1	Estructura base de la máquina soldadora	Acero estructural	ASTM A36	
5	1	Plancha de la estructura	Acero laminado al caliente	ASTM A36	
4	1	Riel de avance de la máquina de oxicorte	Acero laminado al caliente	ASTM A36	
3	1	Soporte para servomotor	Acero laminado al caliente	ASTM A36	
2	2	Soporte para antorcha de soldadura	Aluminio	6061	
1	1	Máquina para oxicorte IK-12 BEETLE			

Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
VIII CICLO		Fecha	Nombre		
Dibujado		10/02/2024	B. Méndez - S. Urgiles		
Comprobado		14/02/2024	Ing. Eugenio Cárdenas		



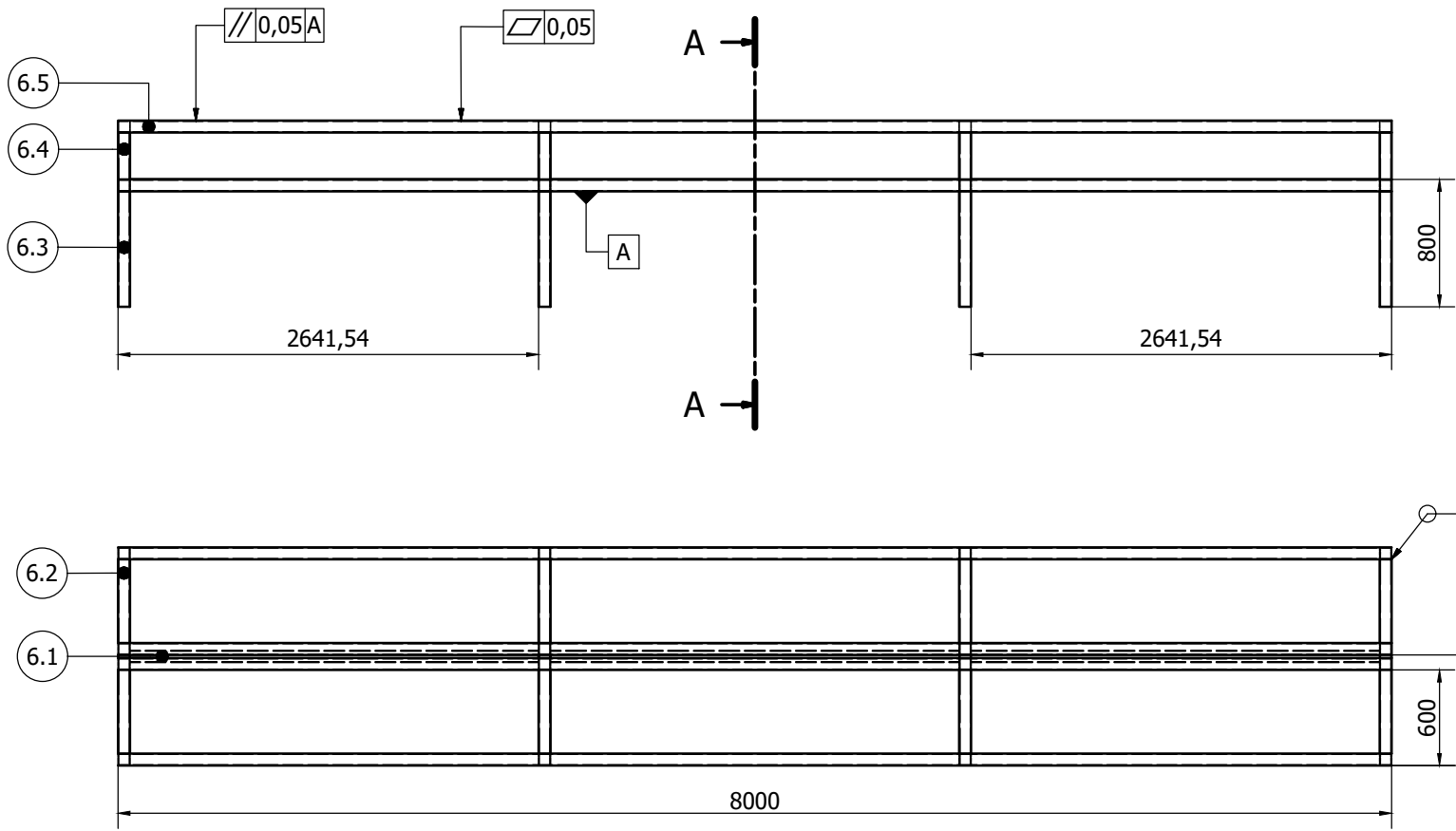
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
SALESIANA**  
SEDE MATRIZ CUENCA

INGENIERÍAS  
Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

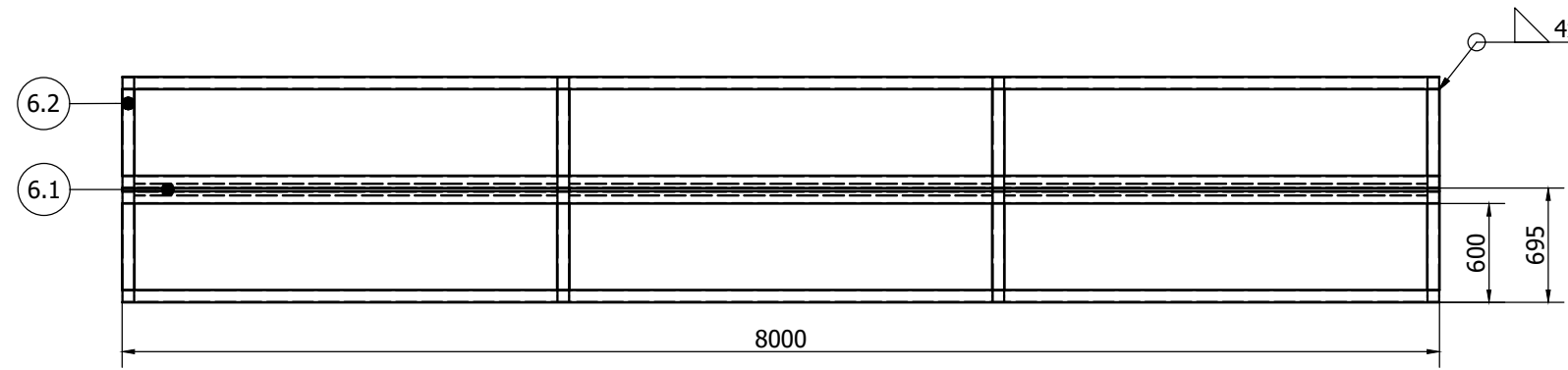
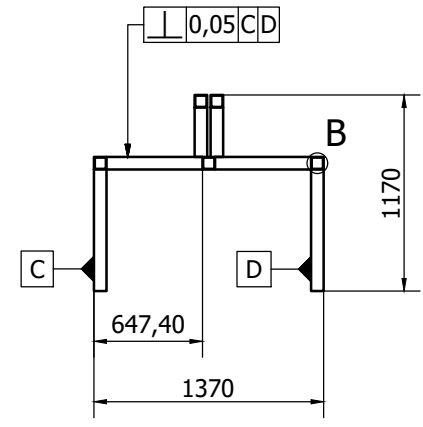
Escala: 1:30  
Tol. gen.: ISO 2768-m

Lámina: 1

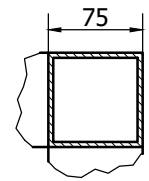
**Máquina automatizada para  
soldadura lineal MIG**



CORTE A-A ( 1 : 30 )



DETALLE B ( 1 : 4 )



6.5	4	Tubo cuadrado de 75 x 75 x 8000	Acero	ASTM A36	
6.4	8	Tubo cuadrado de 75 x 75 x 295	Acero	ASTM A36	
6.3	8	Tubo cuadrado de 75 x 75 x 725	Acero	ASTM A36	
6.2	4	Tubo cuadrado de 75 x 75 x 1220	Acero	ASTM A36	
6.1	3	Tubo cuadrado de 75 x 75 x 2566.54	Acero	ASTM A36	

Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
VIII CICLO		Fecha	Nombre		
Dibujado		10/02/2024	B. Méndez - S. Urgiles		
Comprobado		14/02/2024	Ing. Eugenio Cárdenas		

Estructura base de la máquina soldadora

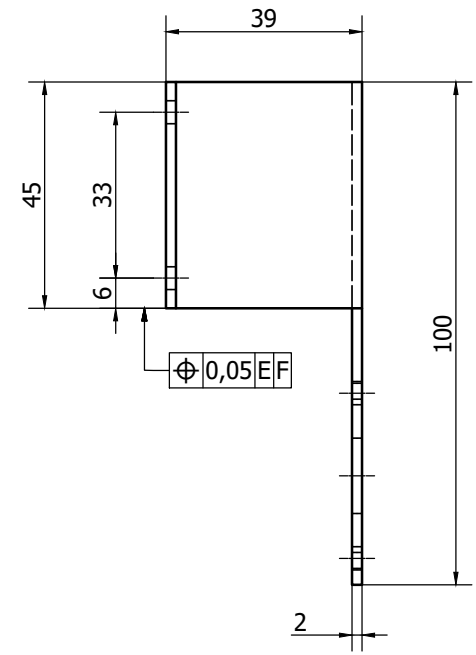
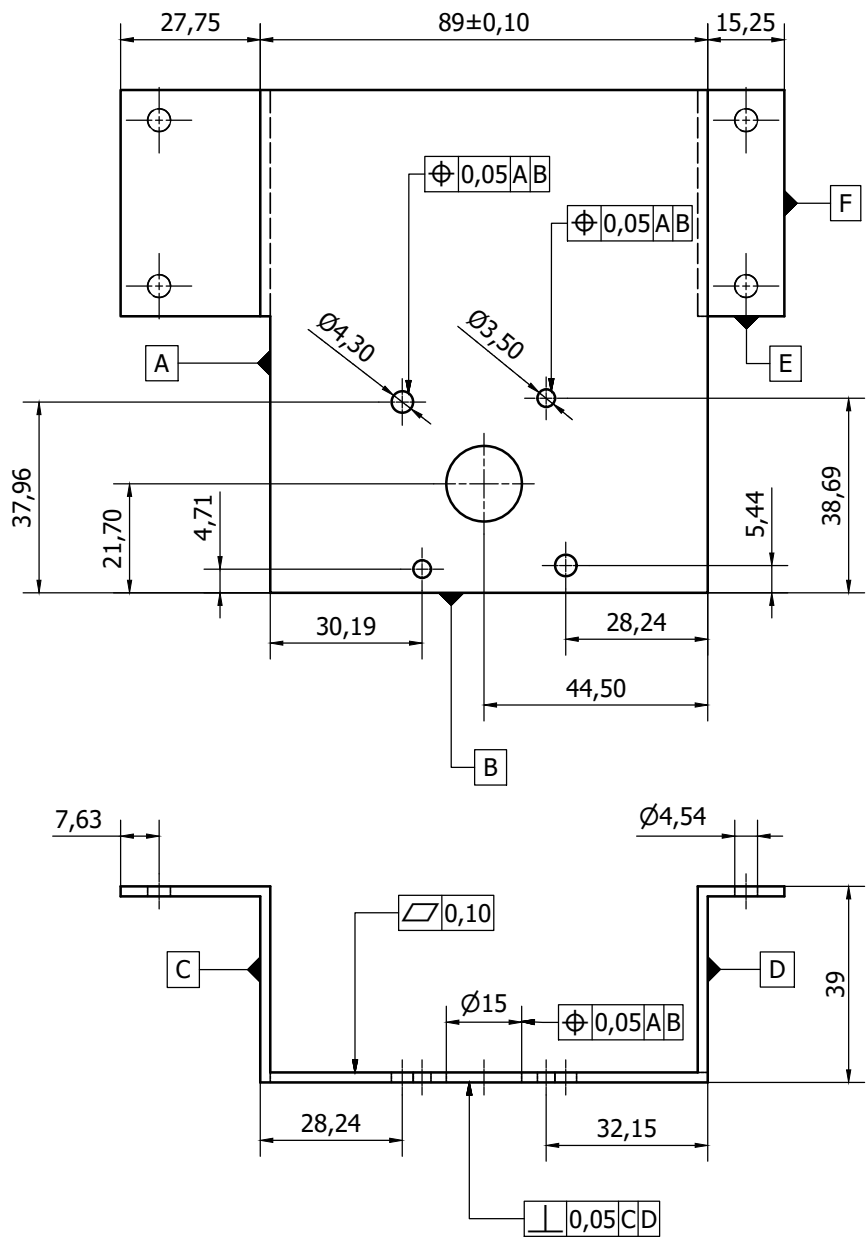



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
SEDE MATRIZ CUENCA

INGENIERÍAS  
Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Escala:	Tol. gen.:
1:30	ISO 2768 -m
Lámina:	2

**Máquina automatizada para soldadura lineal MIG**



3	1	Soporte para servomotor	Acero laminado al caliente	ASTM A36	
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
VIII CICLO	Fecha	Nombre	 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería en Mecatrónica		
Dibujado	10/02/2024	B. Méndez - S. Urgiles			
Comprobado	14/02/2024	Ing. Eugenio Cárdenas			
Soporte para servomotor					
Escala:	Tol. gen.:	<b>Máquina automatizada para soldadura lineal MIG</b>			
1:30	ISO 2768-m				
Lámina:	3				