



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA LÍNEA SEMIAUTOMATIZADA
DE ENSAMBLE DE VIGAS IPE PARA ESTRUCTURAS
METÁLICAS, EN LA MECÁNICA INDUSTRIAL QUINMETAL
UBICADA EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA.”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR:

HENRY MICHAEL QUINLLIN TIXE

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA LÍNEA SEMIAUTOMATIZADA
DE ENSAMBLE DE VIGAS IPE PARA ESTRUCTURAS
METÁLICAS, EN LA MECÁNICA INDUSTRIAL QUINMETAL
UBICADA EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR: HENRY MICHAEL QUINLLIN TIXE

DIRECTOR(A): GARCIA CABEZAS, EDUARDO FRANCISCO

Riobamba – Ecuador

2024

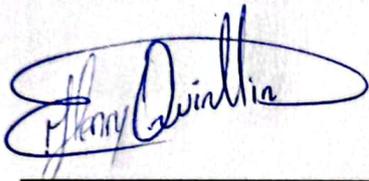
© 2024, Henry Michael Quinlin Tixe

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Henry Michael Quinllin Tixe, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 13 de mayo de 2024

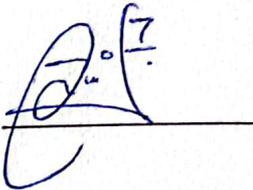
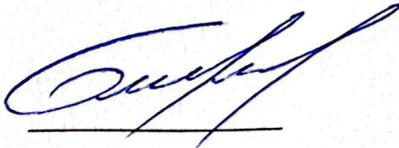


Henry Michael Quinllin Tixe

060470625-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, “IMPLEMENTACIÓN DE UNA LÍNEA SEMIAUTOMATIZADA DE ENSAMBLÉ DE VIGAS IPE PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS, EN LA MECÁNICA INDUSTRIAL QUINMETAL UBICADA EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”, realizado por el señor: HENRY MICHAEL QUINLLIN TIXE, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Jaime Iván Acosta Velarde PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-05-13
Ing. Eduardo Francisco García Cabezas DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-13
Ing. Carlos José Santillán Mariño ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-13

DEDICATORIA

Al concluir mi trabajo de titulación, dedico todo este esfuerzo y dedicación, comenzando por Dios, quien me ha otorgado salud y ha sido mi guía constante a lo largo de mi travesía universitaria. Quiero dedicar un reconocimiento especial a mis extraordinarios padres, Milton Enrique Quinllin Lema y Ada Margarita Tixe Zumba, cuya presencia a mi lado ha sido un apoyo invaluable, brindándome sabios consejos y la educación que son los cimientos que han permitido alcanzar la persona que soy actualmente y lograr esta anhelada meta académica. Asimismo, agradezco a mis hermanas, Esthefania y Viviana, por su apoyo incondicional, consejos sabios y respaldo moral que siempre me han ofrecido. A mi amada pareja, Lisbeth: tu amor, comprensión y apoyo incondicional han sido una fuente inagotable de inspiración y fortaleza. Tu presencia en mi vida me ha brindado el ánimo y la determinación necesarios para superar cada desafío.

HERNY MICHAEL QUINLLIN TIXE

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincera gratitud a Dios por bendecirme en cada momento. A mis amados padres, Milton Quinllin y Margarita Tixe, les agradezco profundamente por su inquebrantable apoyo en los buenos y malos momentos. Son mi ejemplo de esfuerzo y superación, guiándome con sabios consejos y recordándome la importancia de no rendirme. Agradezco a mis hermanas y a mi pareja, quienes han estado presentes en cada etapa, brindándome apoyo para enfrentar cualquier situación o adversidad. Su constante respaldo ha sido crucial para alcanzar el éxito. Les dedico unas palabras especiales, ya que son parte de mi refugio y mi fortaleza. Su cariño y apoyo incondicional me inspiran a ser mejor cada día, y su presencia en mi vida es el mayor regalo que podría pedir. Estoy verdaderamente agradecido por tener a estas maravillosas personas en mi vida. También quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la facultad de mecánica, esta institución ha sido fundamental en mi formación académica y profesional, brindándome las herramientas y el conocimiento necesarios para alcanzar mis metas.

HENRY MICHAEL QUINLLIN TIXE

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY	xviii

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Situación de la empresa	1
1.3 Justificación técnica – económica	2
1.3.1 Justificación Técnica.	2
1.3.2 Justificación Económica.	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Introducción a la construcción con acero para estructuras metálicas.	5
2.2 Perfil de acero IPE	5
2.3 Automatización y semiautomatización de procesos productivos	7
2.4 Línea de ensamble de vigas	9
2.4.1 Ensamble de vigas IPE en posición horizontal	9

2.4.2	<i>Ensamble de vigas IPE en posición vertical</i>	11
2.4.3	Ensamble de vigas IPE en posición inclinada	12
2.5	Soldadura de ensamble de vigas IPE	13
2.6	Robot cartesiano	15
2.7	Normativas y estándares de seguridad y calidad	16
2.8	Factores que influyen para la interpretación de resultados	17

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	18
3.1	Tipo de estudio	18
3.2	Enfoque de investigación	18
3.2.1	<i>Enfoque cuantitativo</i>	18
3.3	Alcance de la investigación	18
3.4	Tipo de Investigación	19
3.4.1	Investigación Documental	19
3.4.2	Investigación Descriptiva	19
3.5	Metodología	19
3.5.1	<i>Método Deductivo</i>	20
3.6	Parámetros del diseño del sistema	20
3.6.1	<i>Requerimientos de la implementación</i>	20
3.7	Arquitectura del sistema	21
3.7.1	<i>Definición de la situación del proceso</i>	23
3.7.2	<i>Descripción del funcionamiento esperado de la implementación</i>	24
3.8	Diseño de la implementación del sistema de soldadura	24
3.8.1	<i>Diagrama del proceso de la implementación</i>	24
3.8.2	<i>Alcance de la implementación del sistema de soldadura</i>	26
3.9	Diseño CAD del sistema estructural de la implementación	26
3.9.1	<i>Primera etapa del diseño</i>	27

3.9.2	<i>Segunda etapa del diseño</i>	28
3.9.3	<i>Tercera etapa del diseño</i>	30
3.9.4	<i>Etapa final del diseño</i>	32
3.10	Diseño del sistema de transmisión	32
3.10.1	<i>Diseño del sistema de transmisión del movimiento principal</i>	33
3.10.2	<i>Diseño del sistema de transmisión del movimiento secundario</i>	35
3.11	Análisis estructural	36
3.11.1	<i>Análisis estático de las bases</i>	37
3.12	Hardware	40
3.12.1	<i>Interfaz CNC</i>	41
3.12.2	<i>Motor</i>	41
3.12.3	<i>Actuador lineal</i>	43
3.12.4	<i>Drive de soldadura MIG</i>	44
3.13	Conexión del hardware de la implementación	45
3.13.1	<i>Esquema de conexión de la implementación</i>	45
3.14	Conexión de los componentes hardware	49
3.15	Construcción de los soportes para la implementación	49
3.15.1	<i>Ensamble de las bases del robot cartesiano y de las vigas IPE</i>	50
3.16	Partes del robot cartesiano CNC	51
3.16.1	<i>Cuerpo principal del robot cartesiano</i>	52
3.16.2	<i>Riel guía longitudinal</i>	52
3.16.3	<i>Riel guía transversal</i>	53
3.16.4	<i>Sistema de control CNC – SF2100</i>	54
3.16.5	<i>Dispositivo de elevación</i>	55
3.16.6	<i>Antorcha de soldadura MIG</i>	56
3.17	Preparación de componentes	56
3.18	Montaje completo de la implementación	56
3.18.1	<i>Montaje del riel guía longitudinal</i>	57
3.18.2	<i>Montaje del cuerpo principal del robot cartesiano</i>	57

3.18.3	<i>Montaje del riel guía transversal</i>	58
3.18.4	<i>Montaje del dispositivo de elevación</i>	58
3.18.5	<i>Montaje de la antorcha MIG</i>	59
3.19	Programación del robot cartesiano	59
3.19.1	<i>Generación de código</i>	60

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	63
4.1	Ejecución de pruebas de soldadura	63
4.1.1	<i>Primera prueba de soldadura</i>	63
4.1.2	<i>Segunda prueba de soldadura</i>	64
4.1.3	<i>Tercera prueba de soldadura</i>	66
4.1.4	<i>Cuarta prueba de soldadura</i>	67
4.2	Tabla resumen de las pruebas de soldadura	68
4.2.1	<i>Tabla resumen con velocidad de avance de 100 mm/min</i>	68
4.2.2	<i>Tabla resumen con velocidad de avance de 125 mm/min</i>	69
4.2.3	<i>Tabla resumen con velocidad de avance de 150 mm/min</i>	69
4.3	Comparación con las pruebas seleccionadas	70
4.3.1	<i>Tercera prueba con velocidad de avance de 100 mm/min y 22 voltios</i>	70
4.3.2	<i>Segunda prueba con velocidad de avance de 125 mm/min y 21 voltios</i>	70
4.3.3	<i>Segunda prueba con velocidad de avance de 150 mm/min y 21 voltios</i>	71
4.3.4	<i>Interpretación de las comparaciones</i>	71
4.4	Evaluación en términos de tiempo	71
4.5	Selección del cordón de soldadura	72
4.6	Comparación entre de la soldadura manual vs la soldadura automatizada	72
4.6.1	<i>Operación de soldadura manual</i>	72
4.6.2	<i>Tabla de comparación de tiempos en la operación de soldadura manual y automatizada</i>	73
4.6.3	<i>Tabla de comparación de operaciones entre la soldadura manual y automatizada</i> ...	73

4.7	Ventajas de la adopción del sistema automatizado	74
4.7.1	<i>Consistencia y precisión</i>	74
4.7.2	<i>Aumento de la productividad</i>	74
4.7.3	<i>Reducción de errores humanos</i>	74
4.7.4	<i>Flexibilidad en la programación</i>	74

CAPÍTULO V

5.	Gestión del proyecto	75
5.1	Cronograma	75
5.2	Costos de la implementación del proyecto técnico	75
5.2.1	<i>Costos directos</i>	76
5.2.2	<i>Costos indirectos</i>	76
5.2.3	<i>Costos totales</i>	76
5.2.4	<i>Recurso humano</i>	77

	CONCLUSIONES	78
--	---------------------------	----

	RECOMENDACIONES	79
--	------------------------------	----

	BIBLIOGRAFÍA	80
--	---------------------------	----

	ANEXOS	82
--	---------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Propiedades de perfiles I de la serie IPE.	7
Tabla 3-1: Propiedades y material de construcción - Soporte del robot cartesiano y vigas IPE37	
Tabla 3-2: Resultado del estudio de tensión – Soporte del robot cartesiano y vigas IPE	38
Tabla 3-3: Resultado del estudio de desplazamiento – Soporte del robot cartesiano y vigas IPE	38
Tabla 3-4: Propiedades y material de construcción - Soporte del robot cartesiano	39
Tabla 3-5: Resultado del estudio de tensión – Soporte del robot cartesiano.....	39
Tabla 3-6: Resultado del estudio de desplazamiento – Soporte del robot cartesiano	40
Tabla 3-7: Características técnicas de la interfaz CNC - SF2100.....	41
Tabla 3-8: Características técnicas de motor de pasos.....	42
Tabla 3-9: Características técnicas del driver de motores.....	43
Tabla 3-10: Características técnicas de los actuadores lineales	44
Tabla 3-11: Características técnicas del driver de soldadura	45
Tabla 3-12: Pines de conexión del interfaz FS-2100 con el driver SFHC25J2.....	47
Tabla 3-13: Pines de conexión de los drives con los motores.....	48
Tabla 3-14: Parámetros para la operación de soldadura.	60
Tabla 4-1: Parámetros de ejecución de soldadura - prueba 1.....	63
Tabla 4-2: Parámetros de ejecución de soldadura - prueba 2.....	65
Tabla 4-3: Parámetros de ejecución de soldadura - prueba 3.....	66
Tabla 4-4: Parámetros de ejecución de soldadura - prueba 4.....	67
Tabla 4-5: Tabla resumen de factores y pruebas con velocidad de avance de 100 mm/min	69
Tabla 4-6: Tabla resumen de factores y pruebas con velocidad de avance de 125 mm/min	69
Tabla 4-7: Tabla resumen de factores y pruebas con velocidad de avance de 150 mm/min	69
Tabla 4-8: Comparación de velocidades.....	71
Tabla 4-9: Diferencia de tiempo entre soldadura manual y automatizada.....	73
Tabla 4-10: Diferencia de operaciones entre soldadura manual y automatizada.....	73
Tabla 5-1: Cronograma de actividades	75
Tabla 5-2: Costos directos del sistema implementado.....	76
Tabla 5-3: Costos indirectos del sistema implementado.....	76
Tabla 5-4: Costo total del sistema implementado.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Estructura metálica.	5
Ilustración 2-2:	Viga IPE.....	6
Ilustración 2-3:	Ensamble de vigas IPE posición horizontal.....	9
Ilustración 2-4:	Soldadura intermitente.....	10
Ilustración 2-5:	Ensamble de vigas IPE posición vertical.....	11
Ilustración 2-6:	Ensamble de vigas IPE posición inclinada.	12
Ilustración 2-7:	Componentes de la soldadura.	14
Ilustración 2-8:	Guía de la antorcha.	14
Ilustración 2-9:	Equipos básicos de soldadura MIG.....	15
Ilustración 2-10:	Ejes ortogonales.....	16
Ilustración 3-1:	Arquitectura del sistema	21
Ilustración 3-2:	Diagrama del proceso	23
Ilustración 3-3:	Diagrama de la implementación del sistema	25
Ilustración 3-4:	Diseño de la integración de motores.....	27
Ilustración 3-5:	Diseño del sistema de transmisión.....	27
Ilustración 3-6:	Diseño del cuerpo principal del robot cartesiano.....	28
Ilustración 3-7:	Diseño del riel guía longitudinal del movimiento principal	29
Ilustración 3-8:	Diseño del soporte del robot cartesiano	29
Ilustración 3-9:	Diseño del riel guía transversal.....	30
Ilustración 3-10:	Diseño de la base de las vigas IPE.....	30
Ilustración 3-11:	Diseño del dispositivo de elevación.....	31
Ilustración 3-12:	Diseño de elementos de sujeción entre la antorcha y el actuador	31
Ilustración 3-13:	Diseño del ensamble final de la implementación	32
Ilustración 3-14:	Diseño del movimiento principal.....	33
Ilustración 3-15:	Diseño del movimiento secundario.....	35
Ilustración 3-16:	Interfaz CNC.....	41
Ilustración 3-17:	Motor de pasos Nema 23 - 57H076H	42
Ilustración 3-18:	Driver de motores	42
Ilustración 3-19:	Actuador lineal.....	43
Ilustración 3-20:	Driver de soldadura MIG - SFHC25J2	44
Ilustración 3-21:	Esquema de conexión de la implementación	46
Ilustración 3-22:	Conexión de driver SFHC25J2 con actuador y antorcha	47
Ilustración 3-23:	Conexión de SF-2100 con drivers OS57 y motor Nema 23 – 57	48

Ilustración 3-24: Conexión de los componentes hardware.....	49
Ilustración 3-25: Armado de marcos de las bases	49
Ilustración 3-26: Colocación de soportes verticales y horizontales	50
Ilustración 3-27: Ensamble de bases para la implementación.....	50
Ilustración 3-28: Capa de pintura en la estructura completa de las bases	51
Ilustración 3-29: Partes del robot cartesiano	51
Ilustración 3-30: Cuerpo principal del robot cartesiano	52
Ilustración 3-31: Riel guía longitudinal.....	52
Ilustración 3-32: Cremallera del riel guía longitudinal	53
Ilustración 3-33: Riel guía transversal.....	53
Ilustración 3-34: Cremallera del riel guía transversal	54
Ilustración 3-35: Interfaz CNC - SF2100	54
Ilustración 3-36: Actuador lineal.....	55
Ilustración 3-37: Elemento de sujeción	55
Ilustración 3-38: Antorcha de soldadura MIG.....	56
Ilustración 3-39: Montaje del riel guía longitudinal.....	57
Ilustración 3-40: Montaje del cuerpo principal del robot cartesiano.....	57
Ilustración 3-41: Montaje del riel guía transversal.....	58
Ilustración 3-42: Montaje del dispositivo de elevación.....	58
Ilustración 3-43: Montaje de la antorcha MIG	59
Ilustración 3-44: Código de ejecución.....	61
Ilustración 3-45: Trayectoria de operación.....	61
Ilustración 4-1: Primera prueba de soldadura MIG.....	64
Ilustración 4-2: Segunda prueba de soldadura.....	65
Ilustración 4-3: Tercera prueba de soldadura	66
Ilustración 4-4: Cuarta prueba de soldadura.....	68
Ilustración 4-6: Tercera prueba con velocidad de avance de 100 mm/min y 22V	70
Ilustración 4-5: Segunda prueba con velocidad de avance de 125 mm/min y 21V.....	70
Ilustración 4-7: Segunda prueba con velocidad de avance de 150 mm/min y 21V.....	71
Ilustración 4-8: Operación de soldadura manual.....	72

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3-1. Fuerza tangencial horizontal teórica	33
Ecuación 3-2. Fuerza tangencial horizontal corregida	34
Ecuación 3-3. Torque del motor	34

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PLANOS DEL SOPORTE DEL ROBOT CARTESIANO Y VIGAS IPE

ANEXO B: PLANOS DEL SOPORTE DEL ROBOT CARTESIANO

ANEXO C: PLANOS DEL RIEL GUÍA LONGITUDINAL

ANEXO D: PLANOS DEL RIEL GUÍA TRANSVERSAL

ANEXO E: PLANOS DEL CUERPO PRINCIPAL DEL ROBOT CARTESIANO

ANEXO F: PLANOS DEL ENGRANAJE

ANEXO G: PLANOS DE LA CREMALLERA

RESUMEN

En la Mecánica Industrial QuinMetal, se implementó un sistema automático para el proceso de soldadura MIG en la línea de ensamble semiautomatizado de vigas IPE. Previamente, el ensamble se realizaba de forma manual, lo cual era laborioso y propenso a errores humanos. La introducción de un robot cartesiano para la soldadura automática tuvo resultados favorables, reduciendo el tiempo de operación en 136 minutos comparado con la soldadura manual. La investigación se basó en un razonamiento lógico y general, aplicando una serie de pasos y procedimientos que optimizaron el rendimiento del proceso. Se mejoraron tanto la producción como la calidad del cordón de soldadura. Además, se realizó el diseño CAD y el análisis estático de los soportes del sistema automatizado, utilizando el módulo de elasticidad del acero A36. Los valores obtenidos fueron menores al límite elástico de 25 MPa y los desplazamientos se consideraron despreciables, lo que permitió proceder con la construcción de la base. La implementación del sistema semiautomatizado de ensamble de vigas IPE tuvo un impacto significativo en Riobamba, donde pocas empresas realizan trabajos similares. La incorporación de un robot cartesiano para la soldadura se convirtió en una alternativa prometedora, reduciendo la dependencia de la mano de obra intensiva, eliminando enfermedades a largo plazo derivadas de la exposición a gases y arco de soldadura, y disminuyendo los accidentes laborales. Además, se optimizaron los tiempos de producción y entrega, mejorando significativamente la calidad del cordón de soldadura.

Palabras clave: <SEMIAUTOMATIZACIÓN> <ENSAMBLE> <VIGAS IPE> <RIOBAMBA (CANTÓN)> <ROBOT CARTESIANO> <SOLDADURA MIG> <PROCESOS DE SOLDADURA > <OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS>

0888-DBRA-UPT-2024



INSTITUTO VECUNAM DE
MECÁNICA
FINANCIERA

SUMMARY

In QuinMetal Industrial Mechanics, an automated system was implemented for the Metal Inert Gas (MIG) welding process in the semi-automated assembly line of IPE beams. Previously, the assembly was performed manually, which was labor-intensive and prone to human errors. Introducing a Cartesian robot for automatic welding yielded favorable results, reducing the operation time by 136 minutes compared to manual welding. The research was based on logical and general reasoning, applying steps and procedures that optimized the process performance. Both production and the quality of the weld bead were improved. Additionally, Computer-Aided Design (CAD) design and static analysis of the automated system supports were conducted using the modulus of elasticity of A36 steel. The values obtained were below the yield strength of 25 MPa, and the displacements were considered negligible, allowing for the construction of the base. Implementing the semi-automated IPE beam assembly system had an important impact in Riobamba, where few companies perform similar work. The assimilation of a Cartesian robot for welding became a promising alternative, reducing reliance on intensive labor, eliminating long-term illnesses caused by exposure to welding gases and arcs, and decreasing workplace accidents. Furthermore, production and delivery times were optimized, significantly improving the quality of the weld bead.

Keywords: <SEMI-AUTOMATION> <ASSEMBLY> <IPE BEAMS> <RIOBAMBA (CITY)> <CARTESIAN ROBOT> <MIG WELDING> <WELDING PROCESSES> <PROCESS OPTIMIZATION>



Lic. Angela Cecibel Moreno Novillo
0602603938

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La evolución de la construcción con acero ha sido parte integral de la industria de la construcción durante décadas, su evolución desde proyectos construidos con hormigón armado hasta la construcción con acero ha marcado un cambio significativo en la industria, este cambio histórico es fundamental para contextualizar la implantación de líneas de ensamble de vigas IPE para la aplicación en estructuras metálicas, ha sido impulsado por una serie de ventajas notables que caracterizan a las estructuras metálicas, que destacan por su ligereza, lo que permite una construcción más rápida, segura y eficiente, además que tiene la capacidad de minimizar los efectos de las vibraciones, ya que con las vigas se posee una mayor masa eficaz, a estas ventajas se suma un ahorro de costos significativos en la fabricación de vigas de acero en comparación con la adquisición de vigas prefabricadas a través de importaciones.

La automatización y tecnologías han sido motores de cambio en la industria, representando un avance lógico en la búsqueda de la eficiencia y la calidad de ensambles de vigas para la construcción de estructuras metálicas, debido a que las líneas de ensamble han evolucionado permitiendo más rapidez y precisión, con equipos de soldadura, sistemas de control de calidad y técnicas de inspección visual son componentes críticos de la implementación de líneas semiautomatizadas.

Los beneficios de la implementación de líneas de ensamble semiautomatizadas ofrece la reducción de costos, la mejora de producción, calidad del producto y bienestar al trabajador, además de la mitigación de errores humanos, sin embargo, presenta desafíos, incluyendo la inversión inicial y adaptación a normas y estándares.

Además, es importante considerar las tendencias actuales y las perspectivas futuras en la automatización de procesos de la construcción, esto permite anticipar posibles innovaciones y avances tecnológicos que podrán impactar en la industria.

1.2 Situación de la empresa

La Mecánica Industrial QUINMETAL, fundada en el año de 1998 como un emprendimiento, ubicada en la ciudad de Riobamba, centraba sus operaciones en la fabricación de puertas y

ventanas metálicas, con el paso de los años, ha experimentado un notable crecimiento y diversificación de sus servicios y productos, entre su amplia oferta, se destacan las estructuras metálicas con vigas IPE, las cuales han conquistado un espacio destacado en el mercado de la construcción, estas estructuras metálicas con vigas IPE se aplican en una variedad de proyectos, incluyendo la construcción de casa, edificios y coliseos, lo que resalta su versatilidad y demanda creciente en el mercado.

Sin embargo, a pesar de la demanda en constante aumento, la obtención de estas vigas IPE presentan desafíos significativos, como los altos costos y largos plazos de adquisición , debido a la importación desde China.

Por ello, la Mecánica Industrial QUINMETAL se encuentra el proceso de planificación y ejecución de una estrategia innovadora, la mecánica está decidida a implementar una solución de vanguardia, la cual busca mejorar procesos con la semiautomatización de una línea de ensamblaje de vigas IPE, este paso se justifica por la observación de que en la actualidad, el ensamble se lleva a cabo de manera tradicional, dependiendo en gran medida de procesos manuales, estos métodos resultan laboriosos, susceptibles a errores humanos y a su vez, afecta negativamente la eficiencia operativa, aumentando los costos de producción y generando retrasos en la entrega de productos.

La mecánica industrial enfrenta una creciente demanda de vigas IPE que se utilizan de dos maneras distintas, en primer lugar, las vigas son destinadas a la comercialización como producto terminado, lo que representa un segmento clave de los ingresos de la Mecánica Industrial QUIMETAL, en segundó lugar, estas vigas se emplean en la construcción de una variedad de estructuras metálicas, esta última aplicación se ha convertido en la activada principal de la mecánica, lo que subraya la importancia de optimiza el proceso de ensamble.

1.3 Justificación técnica – económica

1.3.1 Justificación Técnica.

La implementación de una línea semiautomatizada de ensamble de vigas IPE en la construcción de estructuras metálicas dentro de la Mecánica Industrial QUINMETAL se origina como respuesta a la necesidad de mejorar la eficiencia en la ejecución de procesos repetitivos, enfocados en reducir tiempo de entrega y aumentando la capacidad de producción, permitiendo la adaptabilidad a diferentes tamaños y tipos de vigas, a través de la semiautomatización se logra un mayor control sobre cumplimiento de normas y

estándares de seguridad, respaldado por el sistemas de control como inspección visual, además no solo se garantiza la integridad estructural, sino que también se considera la mejora de las condiciones laborales con una distribución de espacio más ergonómico.

La aplicación de tecnologías semiautomatizadas reduce los riesgos de salud de los trabajadores al eliminar la exposición de gases tóxicos, tareas repetitivas y la manipulación de materiales pesados, esto contribuye a la creación de un entorno de trabajo más moderno y seguro, lo que se traduce a una mayor satisfacción laboral y un mayor compromiso con el trabajo por parte de los empleados.

1.3.2 Justificación Económica.

La inversión en la aplicación de una línea semiautomatizada de ensamble de vigas IPE, con el fin de eliminar procesos manuales, reduce la dependencia de mano de obra intensiva, lo que conlleva una disminución de los costos laborales con un ahorro a lo largo del tiempo, además se agiliza el proceso de ensamble lo que se traduce en mayor capacidad de producción, generando mayores ventas y facilitando la retención de contratos a largo plazo.

Las tecnologías semiautomatizadas minimiza los errores humanos, lo que conlleva a una reducción en los costos asociados con retrabajos, desperdicios de materiales y reclamos de clientes, esto mejora la rentabilidad del negocio y permite una mayor adaptabilidad a las necesidades cambiantes del mercado, lo que puede generar mayores oportunidades de negocio.

Con la línea semiautomatizada de ensamble de vigas IPE la Mecánica Industrial QUINMETAL logra un ahorro significativo de costos en la fabricación y el montaje de estructuras metálicas en comparación con vigas IPE de acero importadas, que tienen un precio elevado y el tiempo de obtención es excesivo debido a que se debe realizar el proceso de importación desde China.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Implementar una línea semiautomatizada de ensamblaje de vigas IPE para estructuras metálicas, en la Mecánica Industrial QUINMETAL, ubicada en la ciudad de Riobamba.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Establecer los requerimientos de la Mecánica Industrial QUINMETAL para el ensamble de vigas IPE.
- Diseñar el sistema y estación de ensamble de vigas tipo IPE por medio de software CAD.
- Implementar el sistema semiautomatizado para ensamblaje de las vigas tipo IPE.
- Determinar la eficiencia del funcionamiento mediante pruebas de validación y calidad.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción a la construcción con acero para estructuras metálicas.

La construcción de acero ha experimentado un notable crecimiento en la industria de la construcción en las últimas décadas, consolidándose como un material preferido para la edificación de diversas estructuras metálicas, como se ejemplifica en la ilustración 2-1. Desde rascacielos hasta puentes y naves industriales, el acero ha sido elegido por sus ventajas claves.

El acero destaca por su reconocida resistencia y durabilidad, convirtiéndolo en un componente esencial en la creación de estructuras sólidas y seguras. Su maleabilidad excepcional permite su adaptación a una amplia variedad de formas y diseños arquitectónicos, proporcionando flexibilidad creativa a los ingenieros.

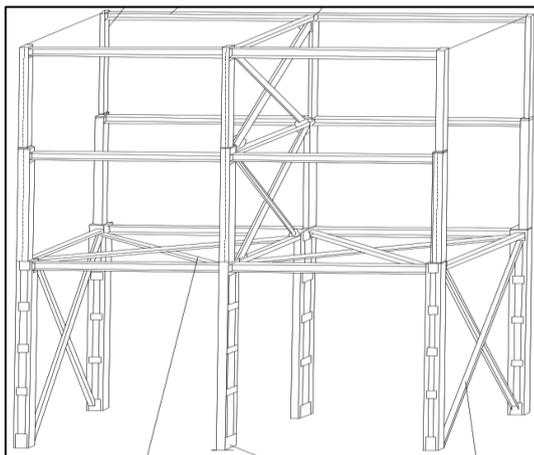


Ilustración 2-1: Estructura metálica.

Fuente: (Brotóns, 2006)

La estructura metálica se componen principalmente de vigas, soportes, arriostramientos verticales, arriostramientos horizontales y soportes empresillados. La integración de todos estos elementos se realiza a través del proceso de soldadura, que actúa como el vínculo clave para asegurar la cohesión y la resistencia de la estructura en conjunto.

2.2 Perfil de acero IPE

Dentro de la norma (NTE INEN 2215, 2012, p. 2), se identifica diversos tipos de aceros, específicamente en la categoría de perfiles de acero laminados en caliente. Esta norma tiene como

propósito establecer los requisitos mecánicos y químicos que deben satisfacer estos perfiles para asegurar su calidad y desempeño en aplicaciones estructurales.

Para ser más específicos la norma (NTE INEN 2230, 2012), titulada Perfiles Estructurales I de Aceros Laminados en Caliente (Serie IPE), tiene como objetivo establece los requisitos dimensionales que deben cumplir los perfiles estructurales I de acero laminados en caliente de la serie IPE.

Dentro de esta norma se tiene las siguientes definiciones:

- Perfil I (Serie IPE): Perfil laminado en caliente con patines en abertura de 90° respecto del alma, los patines con caras internas paralelas, utilizado estructuralmente en construcciones metálicas.
- Patín (Ala): Sección de apoyo cuya dirección es paralela al eje X-X.
- Alma: Sección del perfil que une los patines, es paralela al eje Y-Y.

La norma establece que para los perfiles I, de la serie IPE, se utilizara en su denominación las siglas IPE seguidas del valor de la altura H. (Norma ecuatoriana, 2012, p. 1)

Los símbolos que la norma utiliza son los siguientes:

- B: Ancho del patín.
- H: Altura total.
- t: Espesor del alma.
- T: Espesor del patín.
- R1: Radio de filete

La ilustración 2-2, representa la simbología de la viga IPE:

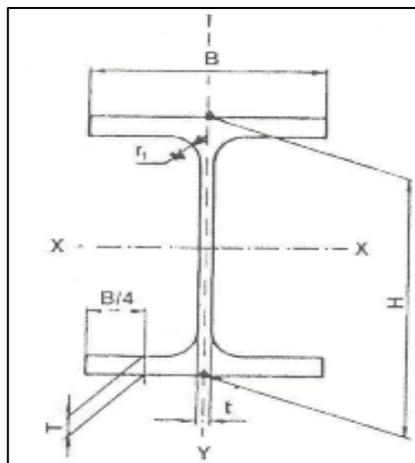


Ilustración 2-2: Viga IPE.

Fuente: (Norma ecuatoriana, 2012, p. 2)

La viga IPE se destaca por su diseño que proporciona un rendimiento versátil en diversos escenarios, abarcando eficientemente esfuerzos de tracción, tensión, flexión y compresión. Esta forma particular de viga, con su sección transversal en forma de “I”, aporta propiedades estructurales que la hacen idónea para diversas aplicaciones en la construcción.

La tabla 2-1 representa las propiedades de perfiles I de la serie IPE:

Tabla 2-1: Propiedades de perfiles I de la serie IPE.

DESIGNACIÓN	Masa	Área	DIMENSIONES					PROPIEDADES SECCIONALES						S _x	s _x
			H	B	T	r ₁ *	t	Y-Y			X-X				
								I _y 2)	Z _x	r _x	I _x	Z _y	R _y		
1)	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm		
IPE 80	6,0	7,64	80	46	5,2	5	3,8	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	11,6	6,90
IPE 100	8,1	10,3	100	55	5,7	7	4,1	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	19,7	8,68
IPE 120	10,4	13,2	120	64	6,3	7	4,4	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	30,4	10,5
IPE 140	12,9	16,4	140	73	6,9	7	4,7	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	44,2	12,3
IPE 160	15,8	20,1	160	82	7,4	9	5,0	869	109	6,58	68,3	16,7	1,84	61,9	14,0
IPE 180	18,8	23,9	180	91	8,0	9	5,3	1320	146	7,42	101	22,2	2,05	83,2	15,8
IPE 200	22,4	28,5	200	100	8,5	12	5,6	1940	194	8,26	142	28,5	2,24	110	17,6
IPE 220	26,2	33,4	220	110	9,2	12	5,9	2770	252	9,11	205	37,3	2,48	143	19,4
IPE 240	30,7	39,1	240	120	9,8	15	6,2	3890	324	9,97	284	47,3	2,69	183	21,2
IPE 270	36,1	45,9	270	135	10,2	15	6,6	5790	429	11,2	420	62,2	3,02	242	23,9
IPE 300	42,2	53,8	300	150	10,7	15	7,1	8360	57	12,5	604	80,5	3,35	314	26,6
IPE 330	49,1	62,6	330	160	11,5	18	7,5	1770	713	13,7	788	98,5	3,55	402	29,3
IPE 360	57,1	72,7	360	170	12,7	18	8,0	6270	904	15,0	1040	123	3,79	510	31,9
IPE 400	66,3	84,5	400	180	13,5	21	8,6	9130	160	16,5	1320	146	3,95	654	35,4
IPE 450	77,6	98,8	450	190	14,6	21	9,4	3740	500	18,5	1680	176	4,12	851	39,7
IPE 500	90,7	116	500	200	16,0	21	10,2	8200	930	20,4	2140	214	4,31	1100	43,9
IPE 550	106	134	550	210	17,2	24	11,1	7120	440	22,3	2670	254	4,45	1390	48,2
IPE 600	122	156	600	220	19,0	24	12,0	2080	070	24,3	3390	308	4,66	1760	52,4

Fuente: (Norma ecuatoriana, 2012, p. 2)

Las dimensiones de las vigas IPE son de gran importancia, ya que están cuidadosamente calculadas para garantizar la conformidad con propiedades específicas, como los momentos de inercia tanto en el eje Y-Y como en el eje X-X, estos momentos de inercia son fundamentales para comprender y predecir el comportamiento estructural de la viga en respuesta a cargas aplicadas.

2.3 Automatización y semiautomatización de procesos productivos

La aplicación de sistemas CNC (Control Numérico por Computadora), resulta beneficioso en procesos productivos al dirigir el posicionamiento de elementos mecánicos, ya sean móviles o fijos, ejecutando operaciones repetitivas de manera consistente y precisa, este enfoque es especialmente valioso en el ensamble de componentes de estructuras metálicas, donde la precisión es esencial para cumplir con las normas establecidas.

El Sistema CNC opera mediante ordenes numéricas en tiempo real asegurando una ejecución precisa de las tareas asignadas, lo que reduce significativamente la probabilidad de errores humanos, contribuyendo a la producción de componentes de alta calidad y cumplimiento normativo.

Contribuye a la mejora de las condiciones laborales, debido a que se suprimen la repetitividad y tareas peligrosas para el trabajador, como la soldadura manual y manipulación de materiales pesados, garantizando un entorno de trabajo más seguro y ergonómico.

La automatización de procesos requiere del uso de sistemas CNC, que controlan y coordinan las operaciones de máquinas herramientas y otros dispositivos de fabricación mediante instrucciones codificadas, estos sistemas están compuestos por varios elementos claves, cuya integración es importante, para ello se describen los siguientes elementos:

- Computadora: Es el núcleo del sistema CNC, es el responsable del procesamiento de algoritmos y programas que determinan la trayectoria, velocidad y secuencia de movimientos de las herramientas o elementos mecánicos.
- Controlado numérico: Funciona como el intérprete clave entre el código de lenguaje G y la maquinaria, garantizando una ejecución precisa de las instrucciones de programación.
- Interfaz de usuario: Pantalla y/o panel táctil que permite al operador interactuar con el sistema CNC, este sistema permite el ingreso de datos y el monitoreo de la máquina.
- Software de programación: Es una herramienta que se utiliza para elaborar el código de programas CNC, la que convierte instrucciones en lenguaje G de un diseño a un lenguaje comprensible para la máquina.
- Riel guía: Representa el espacio de trabajo de la máquina, es decir, los ejes principales X, Y & Z para controlar el movimiento en tres dimensiones.
- Motores y accionadores: Son los elementos que generan movimiento mecánico en los ejes de la máquina según las instrucciones del controlador CNC.
- Dispositivos de sujeción y herramientas: Elementos que sostienen y manipulan la pieza de trabajo y las herramientas para la ejecución de los procesos.
- Sistema de alimentación de energía: Suministro de energía necesaria para el funcionamiento de los motores y otros componentes electrónicos.
- Sistema de emergencia: Mecanismo que detiene inmediatamente la operación de la máquina en caso de emergencia o mal funcionamiento.
- Driver: Son dispositivos que actúan como traductores, asegurando la compatibilidad y la correcta interacción entre el software y el hardware, ejecutando las instrucciones del sistema operativo.

2.4 Línea de ensamble de vigas

Las líneas de ensamble semiautomatizadas representan un avance significativo en la optimización de la producción en la industria de las construcciones metálicas, estos sistemas incorporan componentes de automatización específicos, lo que mejora la eficiencia y precisión de la fabricación de componentes estructurales metálicos.

Una de las características destacadas de las líneas semiautomatizadas es su capacidad para combinar la destreza humana con la eficiencia de la automatización, esto permite a los trabajadores realizar tareas especializadas, mientras se aprovecha las ventajas tecnológicas, como las estaciones de soldadura automatizadas, garantizando una soldadura precisa y uniforme que mejora la calidad del producto final.

El ensamble de vigas es un proceso que demanda una precisión meticulosa, dado su creciente demanda, se ha vuelto necesario lograr una ejecución más precisa y optimizada, con el pasar del tiempo esta técnica ha evolucionado hacia un alto grado de automatización, con este contexto, se pueden distinguir diversos tipos de líneas de ensamble de vigas, que se detallan a continuación:

2.4.1 *Ensamble de vigas IPE en posición horizontal*

La línea de ensamble de vigas en posición horizontal, representada en la ilustración 2-3 se compone principalmente de un soporte para las vigas en posición horizontal y una soldadora MIG.

El soporte de la viga IPE en posición horizontal cumple un papel fundamental al proporcionar un marco estable para la viga durante el proceso de elaboración, este soporte garantiza que la viga este posicionada de manera segura, permitiendo un acceso óptimo para la aplicación de soldadura.



Ilustración 2-3: Ensamble de vigas IPE posición horizontal.

Fuente: (PTW - Pull Through Welding Machine & systems, 2019)

La principal característica se da en la posición de soldadura de las planchas de acero, donde el alma se coloca en posición horizontal y los patines en posición vertical. En dicha posición se suelda los dos extremos del alma con los dos patines de la viga simultáneamente mientras se traslada por medio de rodillos a lo largo de la máquina, para luego voltear la viga 180° y soldar el otro lado del alma.

Pasos para el ensamble de vigas IPE en posición horizontal:

- Almacenamiento de la materia prima: El proveedor encargado de proporcionar las láminas metálicas de Acero A36 cortadas de acuerdo con los diferentes anchos de los dos patines y el alma, con una longitud de 6000 mm y el espesor de 3, 4 o 5 mm.
- Alineación de las partes: Colocar los patines de la viga en forma paralela, y el alma en medio de los dos patines correctamente, como se muestra en la ilustración 2-3.
- Marcado de las ubicaciones: Marcar las ubicaciones específicas para realizar las soldaduras iniciales, además de incluir las áreas donde los patines se unen con el alma.
- Soldadura inicial: Se realiza el proceso de soldadura inicial para unir las partes colocando a tope en la mitad del patín, con electrodo E6011 de 3 mm (1/8) de diámetro, se coloca varillas de refuerzo para darle perpendicularidad y evitar distorsión del alma.
- Verificación de alineación: Después de las soldaduras iniciales vuelve a verificar la alineación con escuadra, de tal forma que no esté desalineada para el proceso de soldadura completa.
- Soldadura completa: El proceso de soldadura completa consiste en soldar de forma “L” en posición horizontal como se muestra en la ilustración 2-3, con una longitud de soldadura de 300 mm cada 200 mm de separación a ambos lados del alma como se representa en la ilustración 2-4, para este proceso se utiliza la soldadura MIG con CO2 como gas de protección del alambre ER70S-6 de 0.9 mm de diámetro.

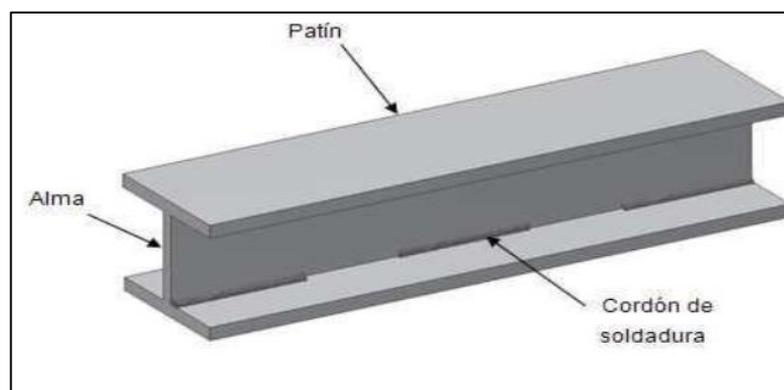


Ilustración 2-4: Soldadura intermitente.

Fuente: (David et al. 2009)

La soldadura en las vigas IPE se realiza de manera discontinua a lo largo de la viga debido a la tendencia inherente a la deformación causada por el calor generado durante el proceso de soldadura, esta práctica se adopta para mitigar los efectos térmicos y minimizar las distorsiones no deseadas en la estructura.

2.4.2 *Ensamble de vigas IPE en posición vertical*

La línea de ensamble de vigas en posición vertical, representada en la ilustración 2-5 al igual que la horizontal se compone principalmente de un soporte para una sola viga y una maquina soldadora MIG.

La fabricación de vigas en posición vertical facilita el proceso de unión y asegura la estabilidad de la fabricación de la viga, al utilizar el patín de la viga como base en el soporte vertical, se logra una mayor alineación, limitándose a realizar una sola operación de soldadura.



Ilustración 2-5: Ensamble de vigas IPE posición vertical.
Fuente: (Yangshan Town Huishan District, 2016)

En esta posición vertical, se procede a soldar un solo lado entre el alma y el patín de la viga, esto se debe a que la disposición de la viga en vertical, el cual no permite la ejecución simultanea de la soldadura en ambos lados.

Para el ensamble de vigas IPE en posición vertical, se procede de la siguiente manera:

- Almacenamiento de la materia prima: El proveedor encargado de proporcionar las láminas metálicas de Acero ASTM A36 cortadas de acuerdo con los diferentes anchos de los dos patines y el alma, con una longitud de 6000 mm y el espesor de 3, 4 o 5 mm.

- Alineación de las partes: Indicar las áreas donde los patines se unen con el alma, colocar un patín sobre la mesa y el alma encima como se muestra en la ilustración 2-5, por último, girar 180°, colocando encima del segundo patín.
- Soldadura inicial: Se realiza el proceso de soldadura inicial para unir las partes colocando a tope, en la mitad del patín, se ejecuta el proceso inicial con electrodo E6011 de 3 mm (1/8) de diámetro, además se coloca varillas de refuerzo para darle perpendicularidad y evitar distorsión del alma.
- Verificación de alineación: Después de las soldaduras iniciales. Se procede a verificar la alineación con escuadra, de tal forma que no esté desalineada para el proceso de soldadura completa.
- Soldadura completa: El proceso de soldadura completa consiste en soldar de forma “T” invertida como se muestra en la ilustración 2-5, con una longitud de soldadura de 300 mm cada 200 mm de separación a ambos lados del alma como se representa en la ilustración 2-4, para este proceso se utiliza la soldadura MIG con CO2 como gas de protección con alambre ER70S-6 de 0.9 mm de diámetro.

2.4.3 *Ensamble de vigas IPE en posición inclinada.*

La línea de ensamble de vigas en posición inclinada representada en la ilustración 2-6, se compone principalmente de un sistema de seguimiento de mecanismo de un eje donde el brazo soldador puede realizar el seguimiento de la línea de soldadura de acuerdo con las condiciones de cada viga.



Ilustración 2-6: Ensamble de vigas IPE posición inclinada.
Fuente: (JINGGONG, 2023)

A diferencia de los anteriores, en esta línea de ensamble se coloca el patín de la viga a 135° respecto al suelo y el alma perpendicular a esta, es decir a 45° respecto al suelo. En la posición mencionada se procede a soldar un cordón a la vez, por lo que se necesita cuatro alineaciones inclinadas de las vigas para terminar su ensamble.

Pasos para el ensamble de vigas IPE en posición inclinada:

- Almacenamiento de la materia prima: El proveedor encargado de proporcionar las láminas metálicas de Acero ASTM A36 cortadas de acuerdo con los diferentes anchos de los dos patines y el alma, con una longitud de 6000 mm y el espesor de 3, 4 o 5 mm.
- Alineación de las partes: Indicar las áreas donde los patines se unen al alma, colocar el alma inclinada a 45° sobre un patín en el centro, después colocar el otro patín sobre el alma con la misma inclinación como se muestra en la ilustración 2-6.
- Soldadura inicial: Se realiza el proceso de soldadura inicial para unir las partes colocando a tope en la mitad del patín, con electrodo E6011 de 3 mm (1/8) de diámetro, se coloca varillas de refuerzo para darle perpendicularidad y evitar distorsión del alma.
- Verificación de alineación: Después de las soldaduras iniciales. Se procede a verificar la alineación con escuadra, de tal forma que no esté desalineada para el proceso de soldadura completa.
- Soldadura completa: El proceso de soldadura completa consiste en soldar de forma “T” en posición inclinada a 45° como se muestra en la ilustración 2-6, con una longitud de soldadura de 300 mm cada 200 mm de separación a ambos lados del alma como se representa en la ilustración 2-4, para este proceso se utiliza la soldadura MIG con CO₂ como gas de protección con alambre ER70S-6 de 0.9 mm de diámetro.

2.5 Soldadura de ensamble de vigas IPE

Dentro de la industria de la construcción metálica, la soldadura representa uno de los procesos clave para unir componentes y ensamblar estructuras de acero, se utiliza el método de soldadura MIG (Metal Inert Gas), el mismo que se ha consolidado como una técnica que ofrece un rápido avance en la unión de componente metálicos, con un resultado de soldadura uniforme, es un proceso que involucra la fusión de materiales mediante el aporte de calor generado por un arco eléctrico entre un electrodo de alambre continuo y la pieza de trabajo, la distinción de este proceso de soldadura es utilización de gas inerte, comúnmente argón o dióxido de carbono.

Los componentes que tiene la soldadora MIG, se visualiza gráficamente en la ilustración 2-7 y se enumera de la siguiente manera:

1. Pieza de trabajo.
2. Arco voltaico.
3. Hilo de soldadura.
4. Boquilla de gas.

5. Alimentador de hilo.
6. Gas de protección.
7. Baño de soldadura.

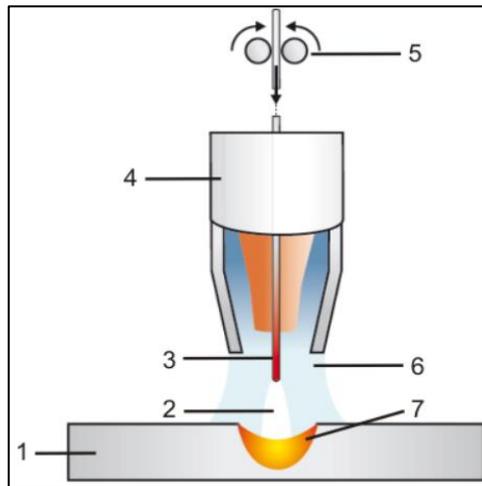


Ilustración 2-7: Componentes de la soldadura.
Fuente: (EWM GmbH, 2023)

Los elementos constitutivos de la soldadura desempeñan un papel importante en la facilitación de la unión de los materiales, dado que son responsables de la emisión de gases y la generación del arco voltaico durante el proceso.

La orientación de la antorcha debe ajustarse con una inclinación específica entre 10° y 20° en dirección de la soldadura, como se muestra en la siguiente ilustración 2-8:

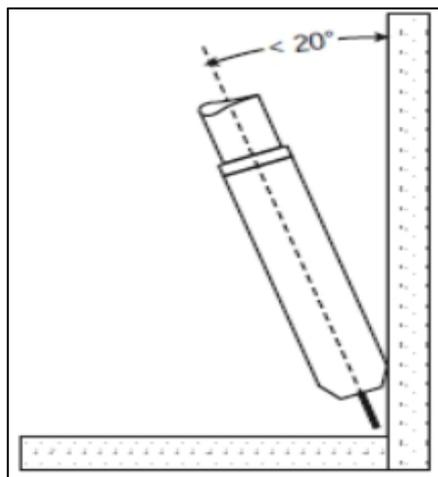


Ilustración 2-8: Guía de la antorcha.
Fuente: (EWM GmbH, 2023)

Esta consideración técnica se fundamenta en la necesidad de evitar la entrada de aire en el gas protector, lo que podría comprometer la integridad del proceso de soldadura.

Los equipos básicos para la soldadura MIG son, representados en la ilustración 2-9:

1. Cable de poder.
2. Fuente de poder.
3. Cable conductor de alambre.
4. Cable de tierra.
5. Antorcha para soldar.
6. Pinza de tierra.
7. Material base.
8. Soporte de rollo de alambre.
9. Gas protector.
10. Alimentador de alambre.

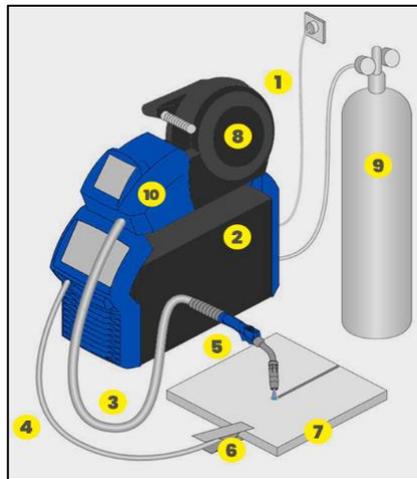


Ilustración 2-9: Equipos básicos de soldadura MIG.

Fuente: (KEYENCE, 2023)

La importancia de los equipos de soldadura MIG radican en su versatilidad, ya que son adecuados para una amplia gama de materiales y espesores, lo que permite una soldadura más rápida y con menos salpicaduras en comparación con otros métodos.

2.6 Robot cartesiano

Los robots cartesianos también llamados de coordenadas rectangulares o lineales son aquellos donde los ejes son ortogonales situados a lo largo de ejes X-Y-Z de un sistema de coordenadas cartesianas, esta disposición estructurada proporciona una plataforma tridimensional organizada y estable, esencial para llevar a cabo operaciones y movimientos precisos en el espacio de trabajo, como se muestra en la ilustración 2-10:

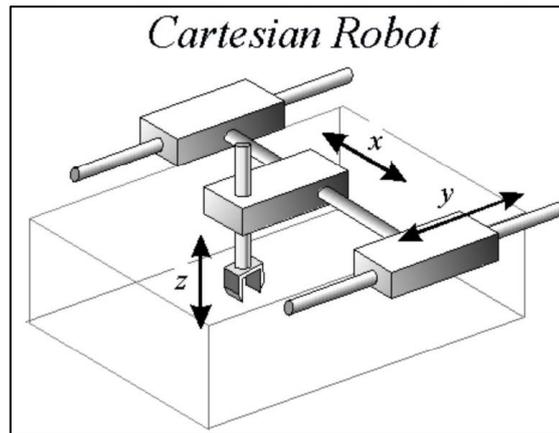


Ilustración 2-10: Ejes ortogonales
Fuente: (Eivar Toscano, 2009)

Los tres ejes de la configuración de la línea de ensamble tienen volúmenes de trabajo regulares, por lo que, en este diseño el eje Y tiene una función fundamental al proporcionar un movimiento longitudinal, también sirve como base para estabilizar los movimientos subsiguientes, como el deslizamiento del eje X que permite un rango de movimiento horizontal preciso y controlado, además el eje Z se asegura firmemente en la corredera del eje X, el cual tiene como función estabilizar la herramienta o pieza necesaria con el fin de realizar el proceso de una manera óptima y precisa.

2.7 Normativas y estándares de seguridad y calidad

Las normativas ecuatorianas de la construcción según la NEC (Norma Ecuatoriana De La Construcción) dispone de normas ecuatorianas de Estructuras de Acero – NEC-SE-AC, las que se basan en disposiciones presentadas en los documentos internacionales que son: ANSI/AISC 341, ANSI/AISC 360 (Seismic Provisions for Structural Steel Buildings).

La cual nos establece los requisitos y especificaciones para el diseño, la fabricación y el uso de estructuras metálicas en Ecuador, con pautas para la selección de materiales, cálculos de cargas, el diseño de vigas, lo que garantiza que las estructuras metálicas sean seguras, duraderas y cumplan con los estándares de seguridad

La norma que rige en la soldadura de estructuras de acero en el ecuador es RTE INEN 040 (1R), la cual tiene como reglamento técnico establecer los requisitos que deben cumplir el personal, materiales, los procedimientos pertinentes y los procesos que intervienen en las actividades de soldadura de estructuras. (Norma ecuatoriana, 2013, p. 2)

Además de pautas para la calificación de soldadura, la selección de materiales de aporte, la preparación de juntas, procedimientos de soldadura y pruebas de calidad.

Establece requisitos para garantizar la calidad de las soldaduras en estructuras metálicas, donde las pruebas de calidad que esta norma puede requerir son:

- Pruebas visuales.
- Pruebas de líquidos penetrantes.
- Pruebas radiográficas.
- Pruebas ultrasonográficas.
- Pruebas de tracción.
- Pruebas de impacto.

2.8 Factores que influyen para la interpretación de resultados

Los factores que se deben considerar para la inspección visual de un cordón de soldadura, y su posterior selección son los siguientes:

- Forma y perfil consistente: El control de la velocidad de avance es fundamental a lo largo de la longitud del cordón, influyendo en su forma, ancho y altura.
- Penetración: El adecuado voltaje suministrado en la unión de los elementos de la viga IPE es esencial para lograr una penetración uniforme, por lo que es importante que no haya discontinuidad, ni falta de fusión en el centro del cordón, asegurando una unión sólida y completa.
- Ausencia de porosidades: La protección de CO₂ garantiza la prevención de pequeñas cavidades que pueden debilitar la integridad de la soldadura.
- Superficie regular: La técnica de soldadura adecuada es esencial para garantizar una superficie libre de salientes o irregularidades.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de estudio

El proyecto técnico abarca una revisión bibliográfica y un análisis detallado de los componentes electromecánicos, esta iniciativa surge de la necesidad de concretar la implementación de un sistema automatizado mediante un robot cartesiano con el objetivo principal de mejorar significativamente el proceso de soldadura. Este enfoque se direcciona al aprovechamiento de recursos tecnológicos para llevar a cabo los procesos de manera eficiente y eficaz.

3.2 Enfoque de investigación

La investigación actual se centra en evaluar la implementación de una línea semiautomatizada para el ensamble de vigas IPE, diseñada específicamente para estructuras metálicas, se adopta un enfoque de investigación unilateral que incorpora el método cuantitativo, lo que permite analizar y obtener una comprensión completa de los impactos y desafíos asociados con la introducción de la tecnología de semiautomatización.

3.2.1 *Enfoque cuantitativo*

Dentro del enfoque cuantitativo, se procederá a evaluar la eficiencia operativa y productiva de la línea semiautomatizada mediante la inspección visual del cordón de soldadura realizada con diversas variaciones en velocidad de avance y voltaje, además del tiempo empleado en la operación de soldadura y la disminución de costos asociada con la implementación de la innovadora tecnología, este proceso se ejecuta mediante la realización de pruebas con el fin de recolectar muestras de cordones de soldadura, con el propósito de consolidar una base sólida para futuras investigaciones orientadas a la optimización continua de la operatividad en la línea.

3.3 Alcance de la investigación

El alcance de la investigación engloba el análisis destinado a evaluar la eficiencia operativa de la línea semiautomatizada, este proceso se llevará a cabo en un entorno industrial, centrado en la adaptación y desempeño de nuevas tecnologías para el ensamble de vigas IPE, además se concentrará en la cuantificación de la eficiencia del ciclo de trabajo y la disminución de costos,

lo que permite una evaluación de la efectividad y viabilidad operativa de la línea semiautomatizada.

3.4 Tipo de Investigación

Este enfoque implica la aplicación práctica de conocimientos y técnicas para resolver problemas específicos de la implementación de una línea semiautomatizada de ensamble de vigas IPE.

3.4.1 Investigación Documental

La investigación documental que se llevará a cabo consistirá en un análisis detallado de un determinado tema basado en información para establecer el estado del objetivo de estudio, que en este caso es el desarrollo de la implementación de una línea semiautomatizada de ensamble de vigas IPE, las principales fuentes de consulta son documentos digitales, escritos, artículos científicos y tesis. Para el desarrollo del presente trabajo se recolectará información relevante de fuentes confiables relacionados con el desarrollo de la implementación de la línea semiautomatizada de ensamble de vigas IPE.

3.4.2 Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva permitirá seleccionar y detallar las especificaciones fundamentales del objetivo de estudio, este tipo de investigación es ampliamente utilizado en trabajos académicos como tesis de grados, pregrado o maestrías especialmente cuando se realizan diagnósticos, perfiles o se diseñan productos, prototipos, entre otros.

En el presente trabajo la investigación descriptiva se utilizará para caracterizar cada componente del sistema a implementar, con el fin de tener una visión precisa al momento de implementar la línea semiautomatizada de ensamble de vigas IPE.

3.5 Metodología

La metodología se basará en una revisión bibliográfica sobre las líneas de ensamble de vigas IPE y tecnologías de automatización, para analizar los componentes claves del sistema semiautomatizado, además de seleccionar tecnologías adecuadas y diseñar el sistema a implementar con herramientas CAD.

3.5.1 Método Deductivo

En el método deductivo, el proceso de investigación inicia con el análisis de conclusiones generales para verificar su validez, por ello la ejecución del trabajo se basa en el recopilado sobre las líneas de ensamble de vigas IPE, lo que se traduce en la aplicación de los principios generales hacia el desarrollo de la línea semiautomatizada de ensamblaje de vigas IPE, que tiene como objetivo incrementar la eficiencia del proceso.

3.6 Parámetros del diseño del sistema

La operación de la línea semiautomatizada de ensamblaje de vigas IPE se centra en dos procesos claves: ensamble y soldadura, para llevar a cabo el proceso de ensamble de la viga se realizará con un operador y para el proceso de soldadura, se implementa un robot cartesiano con movimientos principales en los ejes Y – Z.

El eje Y se encarga de realizar el movimiento longitudinal el cual se ajusta a las dimensiones establecidas en las propiedades de perfiles I de la serie IPE, este movimiento es esencial para tener una correcta alineación y conexión de los elementos estructurales.

El eje Z desempeña un papel importante en dos aspectos fundamentales del proceso de soldadura, en primer lugar, se encarga de estabilizar la inclinación adecuada para lograr una penetración precisa durante la soldadura, además se encarga de la sujeción de la antorcha lo que garantiza un proceso de soldadura eficiente con un movimiento continuo.

3.6.1 Requerimientos de la implementación

En el desarrollo de la implementación, es importante tener en cuenta diversos requerimientos para garantizar la funcionalidad eficiente y precisa del sistema:

- Realizar la operación de soldadura de vigas IPE, las cuales poseen una longitud total de 6000 mm, con una correcta posición que asegure una unión robusta y de calidad.
- Implementar un robot cartesiano que cumpla con los requerimientos de carga, dimensiones y velocidad necesarias para la operación de soldadura, garantizando un cordón de soldadura uniforme a lo largo de la longitud total de la viga IPE.

- Construcción de la base para el robot cartesiano el que permitirá un desempeño preciso del robot durante la operación de soldadura, y una estabilidad con respecto al peso y los movimientos del robot cartesiano.
- Construcción de la base para las vigas IPE, el cual se implementa como base específica para sostener las vigas IPE durante el proceso de soldadura, asegurando una alineación adecuada y un acceso eficiente para realizar las operaciones.

3.7 Arquitectura del sistema

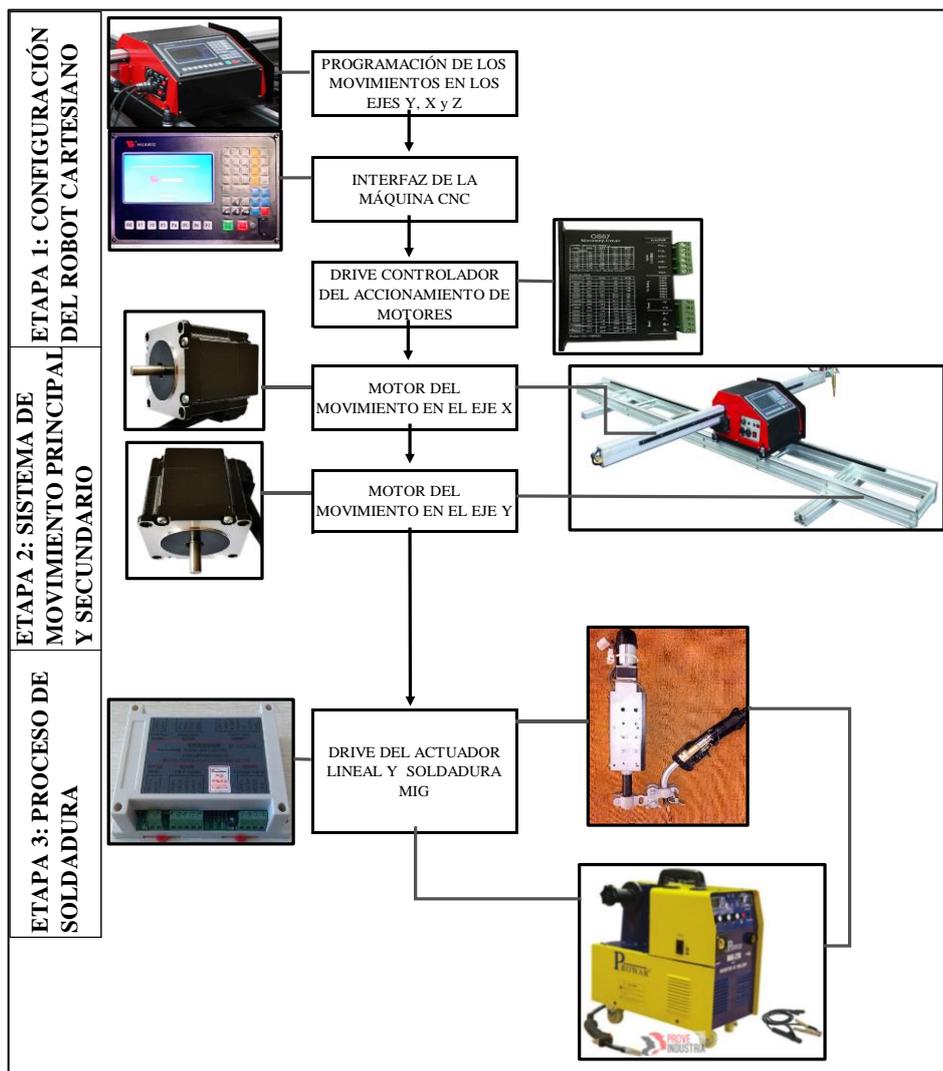


Ilustración 3-1: Arquitectura del sistema
Realizado por: Quinllin H., 2024

Etapa 1: Configuración del robot cartesiano. – En esta etapa inicial, se procederá a la configuración del robot cartesiano empleado en la línea semiautomatizada de ensamble de vigas IPE, durante este proceso, se definirá las velocidades y dimensiones que permitirán una operación eficiente y precisa a través de la interfaz de control, donde se aplica un código de lenguaje G y M para ejecutar las operaciones específicas requeridas.

En el código de lenguaje G, se establecerán comandos geométricos para definir movimientos y ubicaciones precisas del robot, que serán esenciales para configurar las rutas de movimientos del robot a lo largo de los ejes X-Y-Z.

El lenguaje M será aplicada para gestionar funciones misceláneas y comandos específicos de la máquina, como la activación o desactivación de la antorcha para el proceso de soldadura MIG.

El drive de accionamiento se encuentra en la integración de unidades de control específicamente diseñadas para gestionar las operaciones de los motores. Este conjunto de controladores de accionamiento tiene un papel importante, cuyo objetivo principal es garantizar la coordinación y regulación del funcionamiento y eficiencia de cada motor, además de mantener la integridad del sistema y asegurar que cada componente funcione de manera óptima.

Etapa 2: Sistema de movimiento principal y secundario. – En esta etapa, se enfocará en el sistema de movimiento principal y secundario del robot cartesiano, los cuales se realizarán por medio de un piñón y cremallera.

El eje Y, encargado del movimiento longitudinal, será ajustado a las dimensiones especificadas en las propiedades de perfiles I de la serie IPE, este proceso es esencial para la conexión de los elementos estructurales, como es el patín y el alma de la viga.

El eje X, tiene como función el movimiento transversal, el cual desempeña la función de coordinación eficiente entre vigas, lo que permite llevar a cabo la operación de soldadura en múltiples vigas en un solo proceso, optimizando así el tiempo y los recursos durante el proceso de fabricación.

Etapa 3: Proceso de soldadura: En la última fase del proceso, se realizará la operación de soldadura, donde el drive controlador de la soldadura desempeñará la función de activación o desactivación de la antorcha.

En el eje Z, se implementa un actuador lineal, el cual debe cumplir con la función de regular la altura entre la antorcha y la viga por medio del drive controlador, además de regular el ángulo correcto de soldadura que se representa en la ilustración 2-8, esta acción contribuirá a la calidad del cordón de soldadura.

3.7.1 Definición de la situación del proceso

Con el objetivo de automatizar el área de soldadura de la línea semiautomatizada de ensamble de las vigas IPE, con la vinculación de un robot cartesiano de acción tridimensional X-Y-Z, el cual debe cumplir con las especificaciones que proporcionan un proceso eficiente, los cuales se presentan en el diagrama de procesos, en la ilustración 3-2.

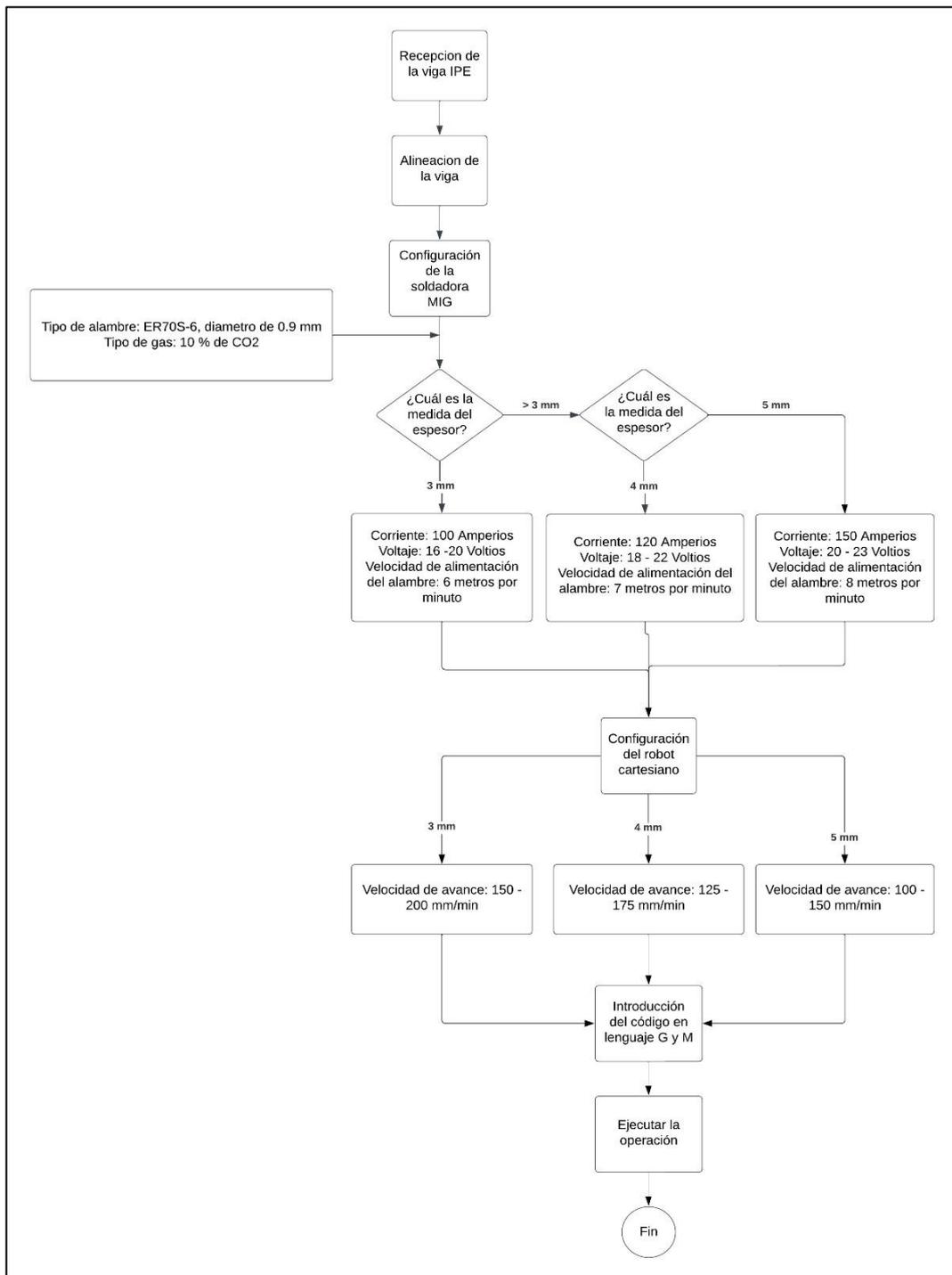


Ilustración 3-2: Diagrama del proceso
Realizado por: Quinllin H., 2024

El diagrama de procesos facilita la identificación de los parámetros necesarios para llevar a cabo la operación de soldadura de manera correcta. Este diagrama proporciona al operador la información esencial, guiándolo en la ejecución de su trabajo, ya que se presenta de manera visual y detallada los parámetros del proceso de soldadura, como las variables del espesor, voltajes y velocidades de avance.

3.7.2 Descripción del funcionamiento esperado de la implementación

En las dos primeras etapas del proceso, se realizará la configuración detallada del robot cartesiano en la interfaz CNC, utilizando los códigos de lenguajes G y M para programar las operaciones específicas que se ejecutará durante todo el proceso, el cual se comprenderá las siguientes actividades:

- Se iniciará el proceso con el reconocimiento del punto inicial o referencia como son las coordenadas, cero en el eje X y cero en el eje Y, además de los movimientos del eje Z, para continuar con el posicionamiento inicial de la viga, utilizando el actuador para identificar la inclinación y la altura adecuada.
- El robot cartesiano realizará un recorrido inicial en los ejes Y - X, trazando el camino completo que seguirá durante todo el proceso de soldadura, este proceso será realizado mediante los motores.
- La antorcha estará sin activación durante este proceso, debido a que será una verificación de los movimientos antes de la ejecución completa.
- En la última etapa, se realizará la ejecución completa del proceso, el cual tendrá el mismo procedimiento que las dos anteriores etapas, con la diferencia de que la antorcha estará activa y ejecutando el cordón de soldadura.

3.8 Diseño de la implementación del sistema de soldadura

El diseño de la implementación del sistema automatizado de soldadura, se especificará los componentes del robot cartesiano, incluyendo su posicionamiento sobre los soportes. A continuación, se representará un diagrama con los pasos requeridos para la implementación.

3.8.1 Diagrama del proceso de la implementación

El diseño de la implementación del sistema automatizado de soldadura sigue una metodología estructurada que comienza con la definición de los requerimientos y el funcionamiento esperado. Posteriormente, se lleva a cabo mediante una serie de pasos cuidadosamente planificados y

destinados a cumplir con los parámetros de diseño establecidos. La ilustración 3-3, proporciona una representación visual de la estructura que guiara la implementación del sistema asegurando una ejecución coherente y efectiva en el proceso automatizada de soldadura de vigas IPE.

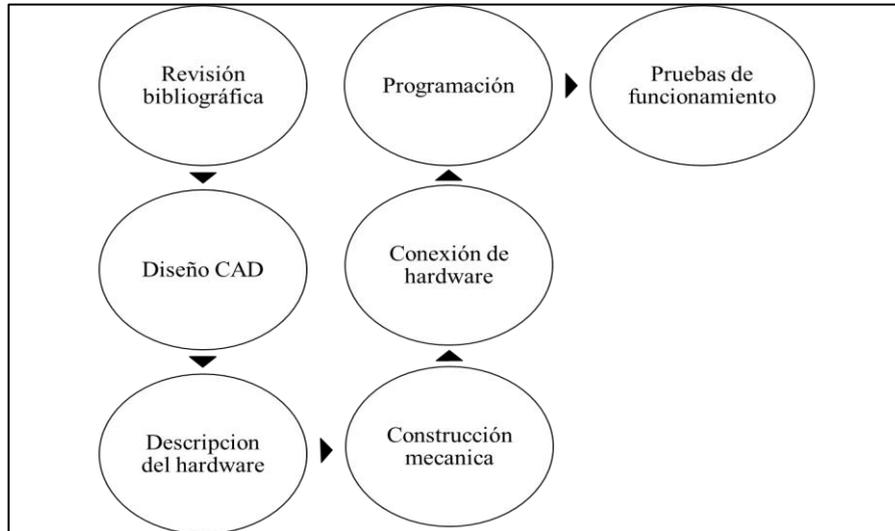


Ilustración 3-3: Diagrama de la implementación del sistema
Realizado por: Quinllin H., 2024

Revisión bibliográfica: Se copia información teórica sobre los equipos necesarios para el sistema automatizado de soldadura, consultando hojas de datos de fabricantes e investigaciones para comprender a fondo los requisitos y asegurar un funcionamiento correcto.

Diseño CAD: Se utiliza un programa de diseño 3D para crear un esquema detallado del mecanismo de implementación, permitiendo visualizar las partes, elementos y materiales necesarios. Para realizar un análisis, donde se confirma que todo encaje adecuadamente y validando la estructura planificada.

Descripción del hardware: Se centra en identificar todas las partes del sistema a implementar según el diseño establecido, prestando especial atención a todos los elementos electrónicos que se utilizan en la implementación, de tal forma que se describe su funcionamiento y características principales que van a realizar en todo el proceso.

Construcción mecánica: El enfoque principal aquí es llevar a cabo la construcción física del sistema de soportes, utilizando materiales metálicos adecuados para la construcción de la estructura, lo que asegura seguir el diseño previamente establecido y se centrarse en la calidad de la construcción.

Conexión de hardware: Implica conectar todos los componentes del sistema según un esquema previamente especificado, realizando todas las conexiones dentro de un contenedor adecuado para preservar la integridad de los componentes.

Programación: Se realiza después de tener todas las conexiones y los elementos físicos para la implementación, donde se procede a efectuar la programación en código de lenguaje G y M, iniciando con las dimensiones requeridas, la posición inicial y la activación de la antorcha de soldadura, asegurando una programación óptima y exitosa.

Pruebas de funcionamiento: Finalmente, nuestro enfoque se dirige a probar y calibrar el sistema de soldadura implementado, ajustando detalles en la programación para garantizar que la operación de soldadura se realice de manera adecuada para un funcionamiento correcto.

3.8.2 Alcance de la implementación del sistema de soldadura

El diseño de la implementación del sistema de soldadura se centra en la investigación del sector industrial, con la meta específica de mejorar el proceso de soldadura. La idea principal es aplicar tecnologías de automatización para optimizar la eficiencia de dicho proceso. En el ámbito industrial, las actividades mecánicas tradicionales han enfrentado desafíos significativos, tales como problemas de salud a largo plazo en los operadores y riesgos de accidentes relacionados con el manejo de materiales pesado. Estos desafíos impactan directamente a la competitividad y estabilidad en el mercado, por ello la adopción de tecnologías innovadoras mejora las condiciones laborales y fortalecen la competitividad en el sector industrial.

El enfoque del diseño e implementación incorpora componentes que aseguran un funcionamiento correcto del sistema, además se busca establecer condiciones operativas realistas que pueden gestionar tanto la eficiencia del proceso como las condiciones laborales en entornos industriales.

La idea central es transformar la soldadura tradicional en un proceso automatizado de alta calidad, buscando hacerla más segura, eficiente y competitiva en el mercado, de tal forma que se elevan los estándares de seguridad y posicionamiento de la mecánica industrial.

3.9 Diseño CAD del sistema estructural de la implementación

Con los parámetros de diseño establecidos, el proceso inicia con la creación del diseño estructural de los componentes principales que serán responsables de sostener todo el sistema automatizado

de soldadura, en este paso se define la robustez y estabilidad del conjunto, asegurando que pueda soportar eficientemente las cargas y movimientos asociados al proceso de soldadura.

3.9.1 Primera etapa del diseño

En la etapa inicial, se aborda el diseño de los componentes principales del robot cartesiano, enfocándose de manera específica en los componentes que comprende el cuerpo principal de la máquina, se encuentra integrado con motores que facilitan los desplazamientos en los ejes X-Y, como se muestra en la ilustración 3-4.

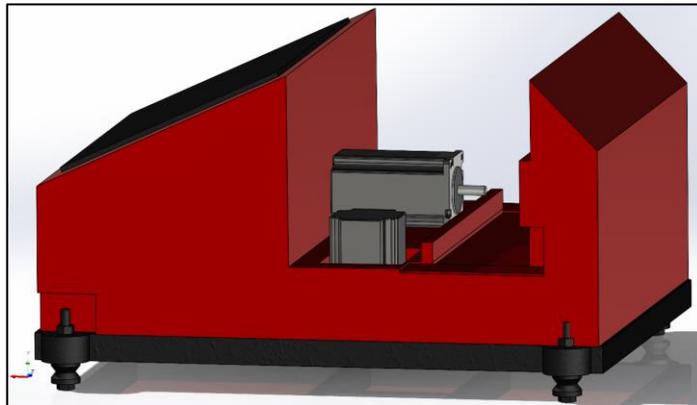


Ilustración 3-4: Diseño de la integración de motores
Realizado por: Quinllin H., 2024

Los engranajes se constituyen como el sistema de transmisión para ejecutar los movimientos en los ejes X-Y, en conjunto con los rodamientos que desempeñan la función de guiar a la máquina a lo largo de toda su base longitudinal, además el cuerpo robótico está asentado sobre una sólida base metálica que le proporciona estabilidad y soporte para el conjunto del sistema. Esta configuración se muestra en la ilustración 3-5, garantizando la precisión en los desplazamientos del robot cartesiano.

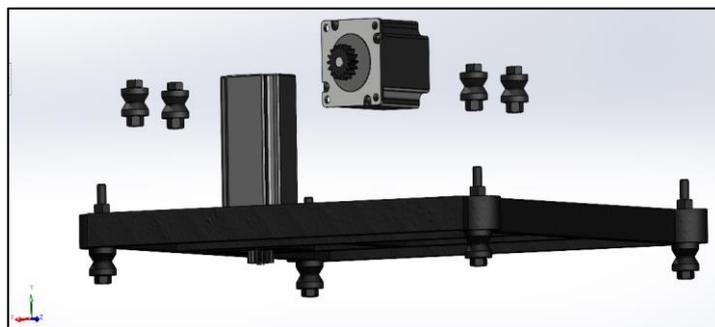


Ilustración 3-5: Diseño del sistema de transmisión
Realizado por: Quinllin H., 2024

La interfaz es la vía de interacción entre el operador y la máquina, permitiendo la programación en códigos de lenguaje G y M, que especifican las operaciones deseadas, estos códigos son posteriormente transmitidos a los controladores de los motores y de la soldadora MIG a través de los drives, los cuales ejecutan las funciones del sistema del robot cartesiano, ilustración 3-6.

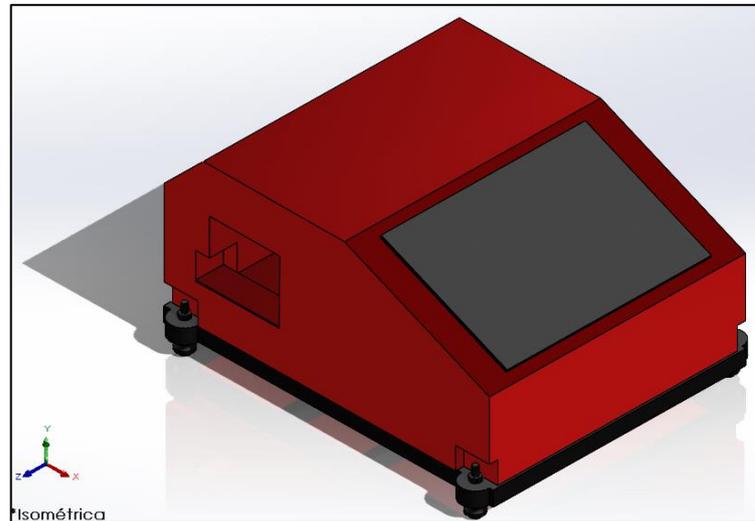


Ilustración 3-6: Diseño del cuerpo principal del robot cartesiano.
Realizado por: Quinllin H., 2024

El cuerpo principal del robot cartesiano está comprendido por una carcasa y base metálica en la que se coloca los rodamientos los que van acopados con pernos y tuercas, lo que permite una estabilidad y sujeción firme, el peso correspondiente a estos componentes es de 14,5 Kg, si se le agrega el peso del riel guía transversal que tiene un peso de 10 Kg, se obtiene un peso total del cuerpo principal del robot de 24,5 Kg, según la ficha técnica (Huawei-HCN-1500W, 2023, p. 2).

3.9.2 Segunda etapa del diseño

En la segunda etapa del diseño, se enfoca en el sistema de transmisión principal y secundario que corresponde al movimiento longitudinal y transversal respectivamente, en los ejes Y-X del robot cartesiano, este sistema opera mediante la interacción del piñón y cremallera, siendo activados por motores.

3.9.2.1 Movimiento principal en el eje Y

El sistema de cremallera está conectando mediante tornillos con cabeza hexagonal al riel guía longitudinal de 6500 mm de largo x 333 mm de ancho, el cual está constituido con tubo rectangular de aluminio de 79 x 44 mm, y unidos mediante 7 pares de varillas redondas lisas de 22 mm para reforzar la integridad y estabilidad del conjunto, ilustración 3-7.

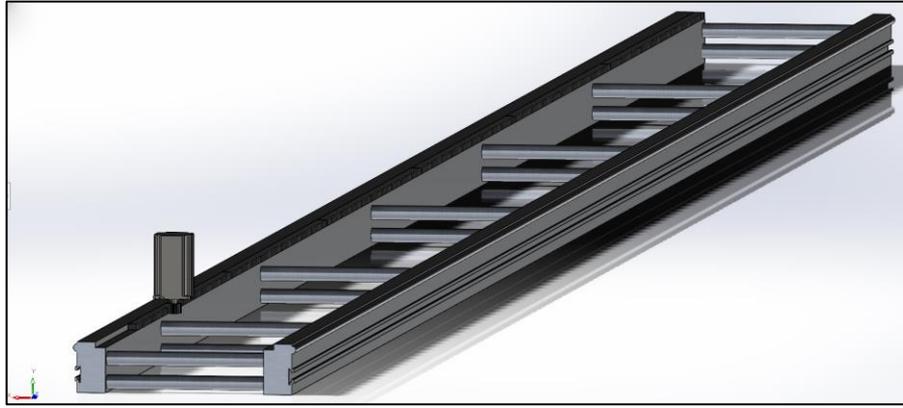


Ilustración 3-7: Diseño del riel guía longitudinal del movimiento principal
Realizado por: Quinllin H., 2024

El peso total de todos los elementos que está constituido el riel guía longitudinal es de 53,5 Kg, es esencial para calcular la carga que la base del robot cartesiano debe soportar.

El diseño del soporte del robot cartesiano y del riel guía longitudinal está construido con un perfil de acero negro A36 en tubo cuadrado de 50 x 2 mm, donde se posicionará el eje Y que tiene una dimensión de 6500 mm de largo x 333 mm de ancho, cuenta con 6 soportes verticales de 575 mm las cuales van sujetas al suelo, ilustración 3-8.

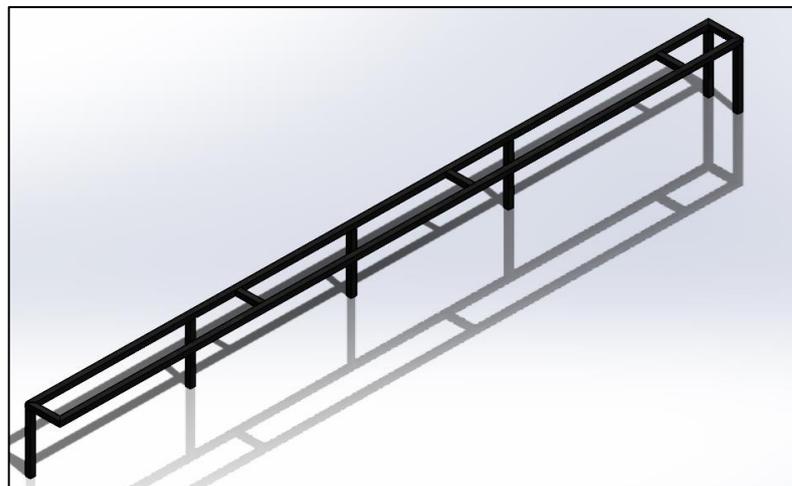


Ilustración 3-8: Diseño del soporte del robot cartesiano
Realizado por: Quinllin H., 2024

La base del robot cartesiano se diseña para soportar un peso distribuido de 78 kg el cual corresponde a la estructura del riel guía longitudinal, al cuerpo del robot cartesiano y al riel guía transversal. Con el objetivo de mejorar la resistencia de la estructura se coloca 4 divisiones a una longitud de 2000 mm en la base, esta disposición busca fortalecer la estructura, asegurando una distribución equitativa del peso y proporcionando mayor estabilidad.

3.9.2.2 *Movimiento secundario en el eje X*

El diseño del movimiento secundario está dado en el riel transversal que corresponde al movimiento del eje X del robot cartesiano, este sistema opera mediante la interacción del piñón y cremallera, siendo activado por un motor, el cual se encuentra ubicado en la parte interna del cuerpo del robot cartesiano.

El sistema de cremallera está conectando mediante tornillos con cabeza hexagonal al riel guía transversal de 1500 mm de largo, el cual está constituido con tubo rectangular de aluminio de 79 x 44 mm, ilustración 3-9.



Ilustración 3-9: Diseño del riel guía transversal
Realizado por: Quinllin H., 2024

El riel guía transversal tienen un peso total de 10 Kg, es la suma total de todos los componentes del movimiento en el eje X, como es el tubo rectangular, la cremallera, dispositivo de elevación y antorcha de soldadura.

3.9.3 *Tercera etapa del diseño*

Para la tercera etapa, que corresponde al proceso de soldadura, se requiere una estructura que sirva de soporte de las vigas IPE y todo el sistema del robot cartesiano, para ello se diseñó una base estructural con tubo cuadrado de 75 x 2 mm en acero negro A36. Las dimensiones de la base son 6000 mm de largo x 1500 mm de ancho y 10 soportes verticales de 500 mm de longitud, los cuales se fijan al suelo, asegurando así la estabilidad y resistencia necesaria para soportar un máximo de 4 vigas IPE.

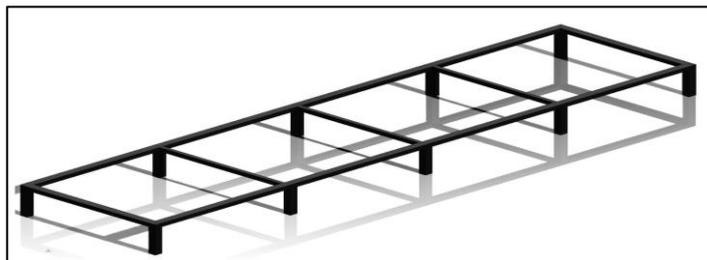


Ilustración 3-10: Diseño de la base de las vigas IPE
Realizado por: Quinllin H., 2024

Cada viga IPE tiene un peso máximo de 184,2 Kg, las cuales contribuyen a una carga distribuida total en la base de 736,8 Kg. Además, se le añade el peso que corresponde al cuerpo del robot cartesiano, el sistema de movimiento principal y secundario, los mismos que se ubicaran en el lado izquierdo de la base, con un peso de 78 kg, dando como resultado un peso total de 841,8 Kg.

Para garantizar la resistencia necesaria en la estructura, se han implementado 4 divisiones a una distancia de 1500 mm, estas divisiones no solo distribuyen efectivamente la carga, sino que refuerzan la base, asegurando la capacidad necesaria para soportar el peso total del sistema y las vigas IPE durante el proceso de soldadura.

El diseño del dispositivo de elevación incluye un actuador encargado de accionar un pistón, responsable de ejecutar el movimiento en el eje Z, además regula la distancia entre la viga IPE y la antorcha de la soldadora durante todo el proceso, ilustración 3-11.

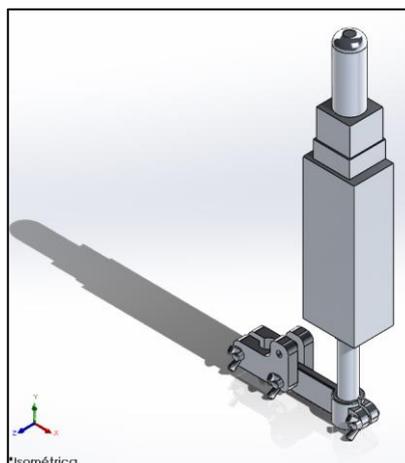


Ilustración 3-11: Diseño del dispositivo de elevación
Realizado por: Quinllin H., 2024

El dispositivo de elevación está compuesto por un actuador, el soporte de la antorcha y la unión entre el soporte-actuador, estas uniones están aseguradas mediante un perno con cabeza de mariposa, proporcionando una conexión segura y permitiendo ajustes manuales sencillos.

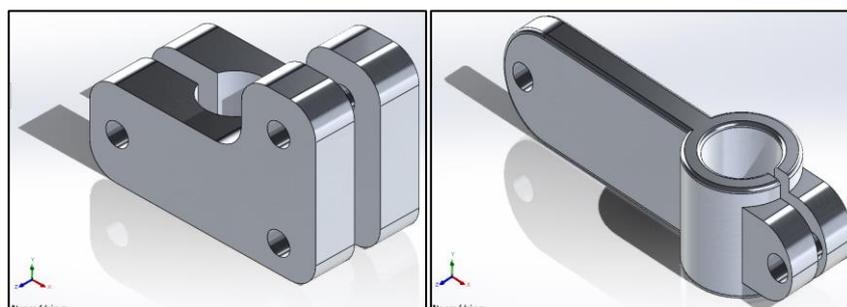


Ilustración 3-12: Diseño de elementos de sujeción entre la antorcha y el actuador
Realizado por: Quinllin H., 2024

Los elementos de unión entre la antorcha y el actuador lineal están fabricados de acero negro A36, visualizados en la ilustración 3-12. Esta elección se fundamenta en la capacidad del acero para resistir y soportar el arco emitido por la soldadora. Dada la exposición directa a las condiciones del proceso de soldadura, asegurando un rendimiento fiable y prolongado en el entorno de trabajo.

3.9.4 *Etapa final del diseño*

Una vez finalizado el diseño de todos los componentes del sistema de soldadura de vigas IPE, se llevó a cabo el ensamble de las piezas conforme a la ilustración 3-13. En esta etapa, se procedió a posicionar el cuerpo principal del robot cartesiano sobre el riel guía longitudinal, ubicando este conjunto sobre la mesa de soporte destinada para el robot cartesiano. Esta mesa, a su vez, está sostenida por la base del soporte de las vigas IPE. Finalmente, se acoplo la guía transversal al dispositivo de elevación, el cual se encuentra sujeto mediante el cuerpo principal del robot.

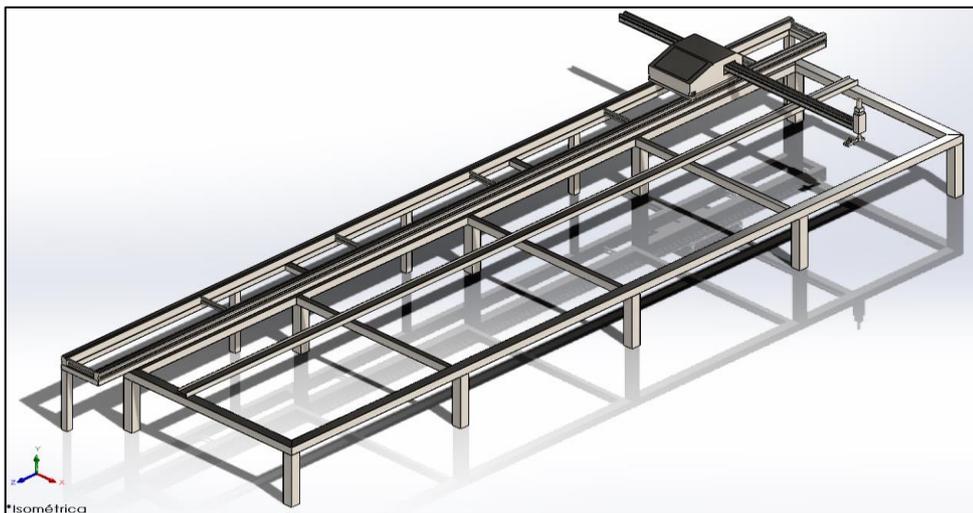


Ilustración 3-13: Diseño del ensamble final de la implementación
Realizado por: Quinllin H., 2024

El ensamble final se lleva a cabo conforme todos los requisitos necesarios, con lo cual se procede a realizar los cálculos estáticos, la descripción de los elementos pertinentes y la implementación efectiva del sistema automatizado de soldadura de vigas IPE.

3.10 **Diseño del sistema de transmisión**

En la fase del diseño del sistema de transmisión, se optó por engranajes, cremallera y rodamientos con el objetivo de lograr una transmisión eficiente y duradera. Se llevaron a cabo consideraciones detalladas sobre las cargas involucradas y los movimientos requeridos para tener un rendimiento óptimo del sistema.

3.10.1 Diseño del sistema de transmisión del movimiento principal

En la ilustración 3-14, se muestra el esquema del movimiento principal que se encuentra en el eje Y. El desplazamiento lineal se realiza mediante un sistema de piñón-cremallera, en el cual se debe considerar el peso del cuerpo principal del robot cartesiano.

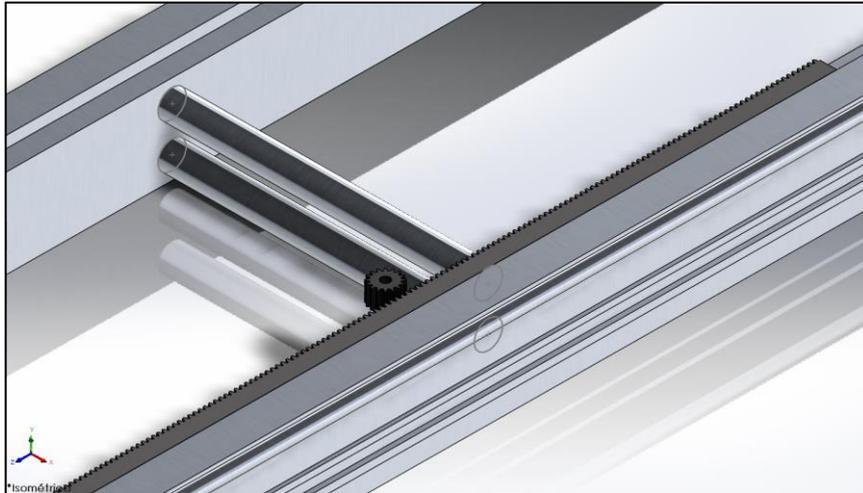


Ilustración 3-14: Diseño del movimiento principal
Realizado por: Quinllin H., 2024

De acuerdo con el análisis de las propiedades físicas de la estructura, el cuerpo principal del robot cartesiano se considera su peso que corresponde a un valor de 14,5 Kg o 14500 g. El cálculo de la fuerza tangencial teórica se realiza mediante la siguiente ecuación 3-1:

$$F_{ht} = P * (9,81 * \mu + a)$$

Ecuación 3-1. Fuerza tangencial horizontal teórica

Donde:

F_{ht}: Fuerza tangencial horizontal teórica

P: Masa a trasladar

μ : Coeficiente de rozamiento; cuyo material de contacto es acero-acero es igual a 0,74

a : Aceleración lineal; es cero considerando una velocidad constante

Reemplazando todos estos valores en la ecuación 3-1 se tiene que:

$$F_{ht} = 14,5 \text{ Kg} * (9,81 \text{ m/s}^2 * 0,74 + 0)$$
$$F_{ht} = 105,26 \text{ [N]}$$

Se obtiene un valor de 105,26 [N] de fuerza tangencial horizontal teórica, se procede a calcular la fuerza tangencial horizontal corregida considerando el coeficiente de seguridad K, con la siguiente ecuación 3-2:

$$F_{hc} = F_{ht} * K$$

Ecuación 3-2. Fuerza tangencial horizontal corregida

Donde:

Fhc: Fuerza tangencial horizontal corregida

Fht: Fuerza tangencial horizontal teórica

K: Coeficiente de seguridad; se asume un factor de seguridad de 1 debido a que se trabaja con materiales conocidos, además de que se considera por sus horas de trabajo que son menor a 10 horas y el tipo de carga que es uniforme.

Reemplazando todos estos valores en la ecuación 3-2 se tiene que:

$$F_{hc} = 105,26 \text{ N} * 1$$

$$F_{hc} = 105,26 \text{ [N]}$$

Se obtiene un resultado de 105,26 [N] de fuerza tangencial horizontal corregida, con ello se procede a calcular el torque del motor requerido por el sistema con la ecuación 3-3:

$$\tau = F_{hc} * r$$

Ecuación 3-3. Torque del motor

Donde:

Fhc: Fuerza tangencial horizontal corregida

r: El radio del piñón, el cual es igual a 0,0115 [m]

Reemplazando todos estos valores en la ecuación 3-3 se tiene que:

$$\tau = 105,26 \text{ N} * 0,0115 \text{ m}$$

$$\tau = 1,21 \text{ [Nm]}$$

El torque que requiere el motor, considerando una masa total de 14,5 Kg o 14500 g, un coeficiente de rozamiento de 0,74, un coeficiente de seguridad K de 1 y un radio del piñón de 0,0115 [m] es de 1,21 [Nm]

3.10.1.1 Selección de la fuerza del movimiento principal

El motor debe tener suficiente par motor o torque de retención para mover correctamente el cuerpo principal del robot cartesiano, el valor de toque obtenido para el movimiento principal correspondiente al eje Y, es de 1,21 [Nm].

Para el sistema de transmisión se usa un motor, que funciona a 24V, con un torque de 17 [Kg-cm] o 1,66 [Nm] que es superior al 1,21 [Nm] requeridos para la implementación.

3.10.2 Diseño del sistema de transmisión del movimiento secundario

En la ilustración 3-16, se muestra el esquema del movimiento secundario que se encuentra en el eje X. El desplazamiento lineal se realiza mediante un sistema de piñón-cremallera, en el cual se debe considerar el peso del riel transversal, el dispositivo de sujeción y la antorcha de la soldadora.

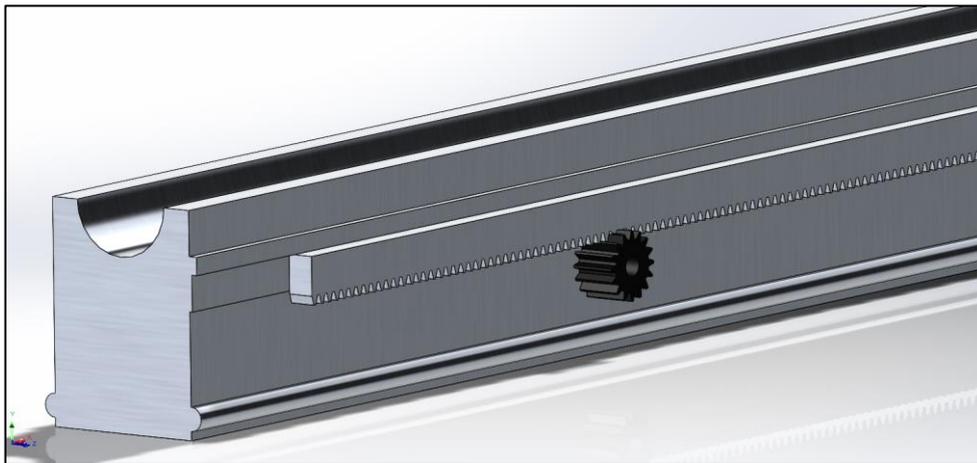


Ilustración 3-15: Diseño del movimiento secundario
Realizado por: Quinllin H., 2024

De acuerdo con el análisis de las propiedades físicas de la estructura, el movimiento secundario tienen una masa de 10 Kg o 10000 g. El cálculo de la fuerza tangencial teórica se realiza mediante la ecuación 3-1, que remplazando da como resultado:

$$F_{ht} = 10 \text{ Kg} * (9,81 \text{ m/s}^2 * 0,74 + 0)$$
$$F_{ht} = 72,59 \text{ [N]}$$

Tenemos un resultado de 72,59 [N] de fuerza tangencial teórica, después se procede a calcular la fuerza tangencial horizontal corregida considerando el coeficiente de seguridad K, que se

considera un factor de seguridad de 1,25 debido a que tiene un tiempo de trabajo menor a 10 horas y un tipo de carga media, lo que reemplazando en la ecuación 3-2 se tiene que:

$$F_{hc} = 72,59 N * 1,25$$

$$F_{hc} = 90,74 [N]$$

Se obtiene un valor de 90,74 [N] de fuerza tangencial horizontal corregida, con ello se procede a calcular el torque del motor requerido por el sistema con la ecuación 3-3, donde se considera el radio del piñón de 0,0115 [m]

$$\tau = 90,74 N * 0,0115 m$$

$$\tau = 1,04 [Nm]$$

El torque requerido por el motor que debe mover una masa de 10 Kg o 10000 g, un coeficiente de rozamiento de 0,74, un coeficiente de seguridad K de 1,25 y un radio del piñón de 0,0115 [m] es de 1,04 [Nm]

3.10.2.1 Selección del movimiento secundario

El motor debe tener suficiente par motor o torque de retención para mover correctamente el riel transversal el cual tiene acoplado el dispositivo de elevación con la antorcha, el valor de torque obtenido para el movimiento secundario correspondiente al eje X, es de 1,04 [Nm].

Para el sistema de transmisión se vio adecuado usar un motor, que funciona a 24V y un torque de 17 [Kg-cm] o 1.67 [Nm] que es superior al 1,04 [Nm] requeridos para la implementación.

3.11 Análisis estructural

Dada la carga que debe soportar, se han realizado análisis de esfuerzos y deformaciones mediante la utilización de software de diseño CAD en 3D, con el objetivo de abordar la resistencia de las estructuras ante situaciones de carga, se ha llevado a cabo un análisis estático en las bases identificadas como propensas a tensiones, compresiones y flexiones.

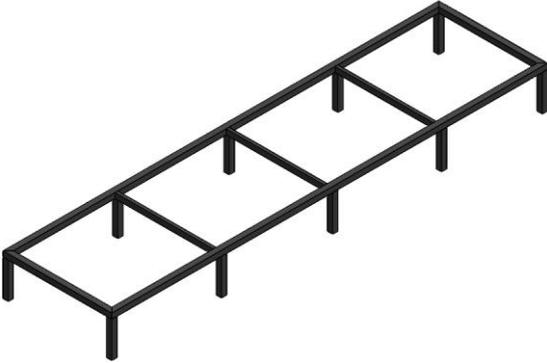
3.11.1 Análisis estático de las bases

El análisis estático de las bases ofrece resultados detallados, los cuales son fundamentales para comprender la capacidad de carga y estabilidad de los soportes, lo que es esencial para un rendimiento seguro y eficiente del conjunto conformado por el robot cartesiano y las vigas IPE.

3.11.1.1 Análisis estático de la base que soporta a las vigas IPE

En la tabla 3-1, se detalla propiedades físicas de la base destinada al soporte del robot cartesiano y las vigas IPE, junto con el modelo de la estructura realizada en diseño CAD en 3D. Esta presentación integral proporciona una visión completa de las características físicas y geométricas, facilitando así una comprensión de la estructura antes de su implementación.

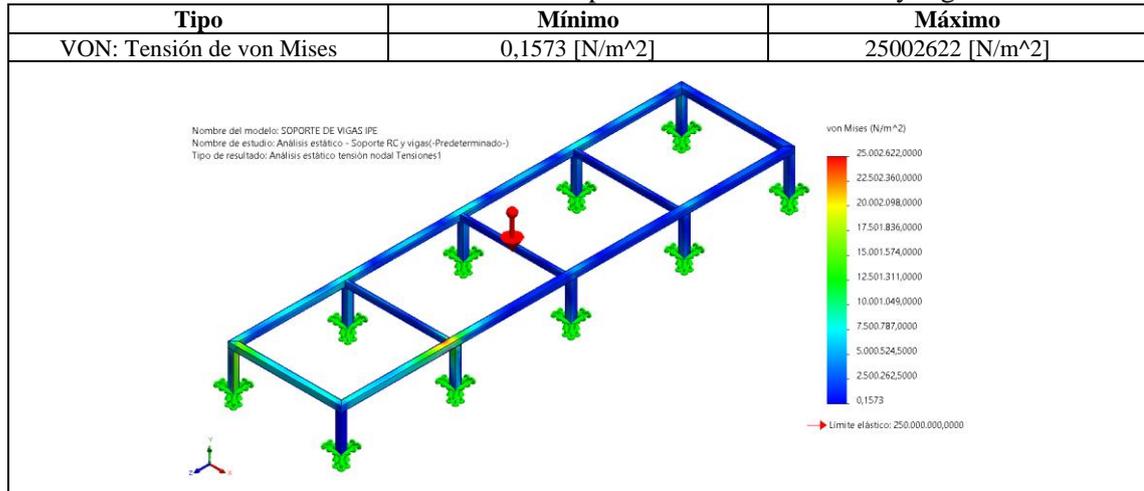
Tabla 3-1: Propiedades y material de construcción - Soporte del robot cartesiano y vigas

Referencia del modelo	Propiedades físicas
	Masa: 148,72 [Kg] Volumen: 4,5 [m ³] Densidad: 33,05 [Kg/m ³] Peso: 1458,94 [N]
	Propiedades del material
	Acero negro A36 Modulo elástico: 2e ¹¹ [N/m ²] Coeficiente de Poisson: 0.26 [N/D] Densidad de masa: 7850 [Kg/m ³] Límite de tracción: 400e ⁶ [N/m ²] Limite elástico: 250e ⁶ [N/m ²]

Realizado por: Quinllin H., 2024

La estructura que soporta la base del robot cartesiano y a las vigas IPE es de acero negro A36, cuyo espesor es de 1,5 mm. Esta base soporta un peso distribuido de 841,8 Kg, para obtener un análisis de las propiedades físicas de la base, la misma que se encuentra anclada al suelo mediante 10 soportes verticales, con estos datos se realizó el análisis estático y se obtiene los siguientes resultados mostrados en la tabla 3-2.

Tabla 3-2: Resultado del estudio de tensión – Soporte del robot cartesiano y vigas IPE

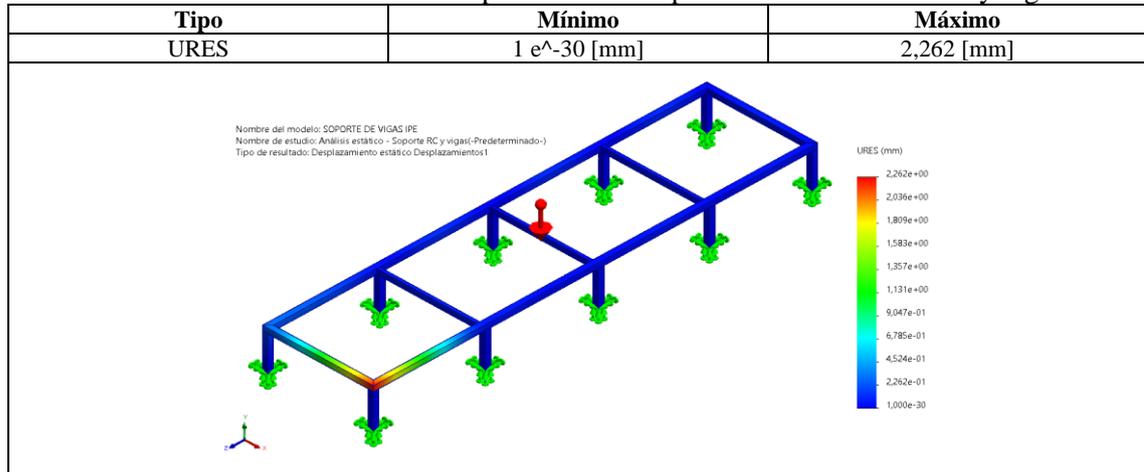


Realizado por: Quinllin H., 2024

El soporte que sostiene a la base del robot cartesiano y las vigas IPE experimentan una tensión máxima de 25002622 [N/m²], la cual se encuentra por debajo del límite elástico del material establecido en 250000000 [N/m]. Este resultado permite concluir que el material no se ve afectado por la tensión aplicada y confirmando que se mantiene dentro de los parámetros de seguridad.

En la siguiente tabla se presenta los resultados del estudio de desplazamientos que soporta al robot cartesiano y a las vigas IPE.

Tabla 3-3: Resultado del estudio de desplazamiento–Soporte del robot cartesiano y vigas IPE



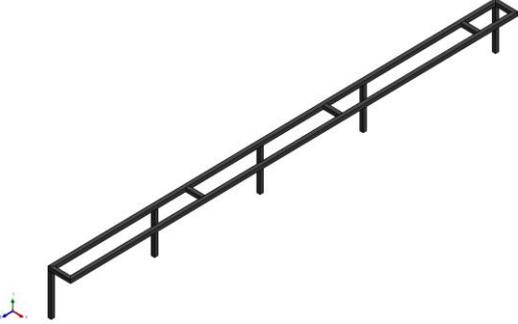
Realizado por: Quinllin H., 2024

En la tabla 3-3 se registra un desplazamiento máximo en el soporte de 2,262 mm, con ello se puede concluir que la estructura demuestra un desplazamiento considerado despreciable lo cual sugiere una estabilidad satisfactoria. Este resultado es indicativo que el material seleccionado no se verá afectado negativamente por la fuerza máxima a la que está sometida.

3.11.1.2 Análisis estático de la base del robot cartesiano

En la tabla 3-4, se detalla las propiedades físicas de la base destinada al robot cartesiano, junto con el modelo de la estructura realizada en diseño CAD en 3D, lo que representa una visión precisa y detallada de la base tridimensional.

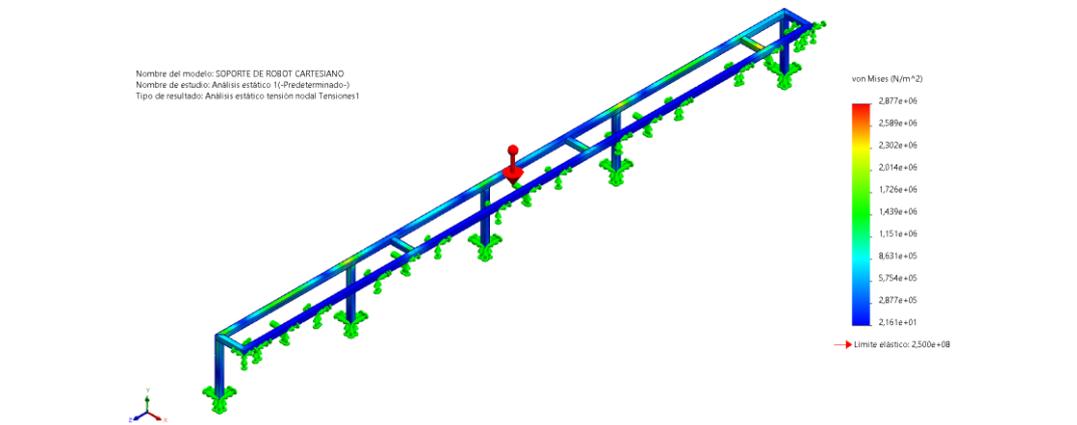
Tabla 3-4: Propiedades y material de construcción - Soporte del robot cartesiano

Referencia del modelo	Propiedades físicas
	Masa: 54,205 [Kg] Volumen: 1,71 [m ³] Densidad: 31,69 [Kg/m ³] Peso: 531,75 [N]
	Propiedades del material
	Acero negro A36 Modulo elástico: 2e ¹¹ [N/m ²] Coeficiente de Poisson: 0.26 [N/D] Densidad de masa: 7850 [Kg/m ³] Límite de tracción: 400e ⁶ [N/m ²] Limite elástico: 250e ⁶ [N/m ²]

Realizado por: Quinllin H., 2024

La base que soporta al robot cartesiano está fabricada de acero negro A36 con un espesor de 1,5 mm, capaz de soportar un peso distribuido de 78 Kg. Esta base se encuentra fijada al suelo mediante 5 soportes verticales, además de estar soportado en la base de las vigas IPE, con estos datos se obtuvo los siguientes resultados mostrados en la tabla 3-5.

Tabla 3-5: Resultado del estudio de tensión – Soporte del robot cartesiano

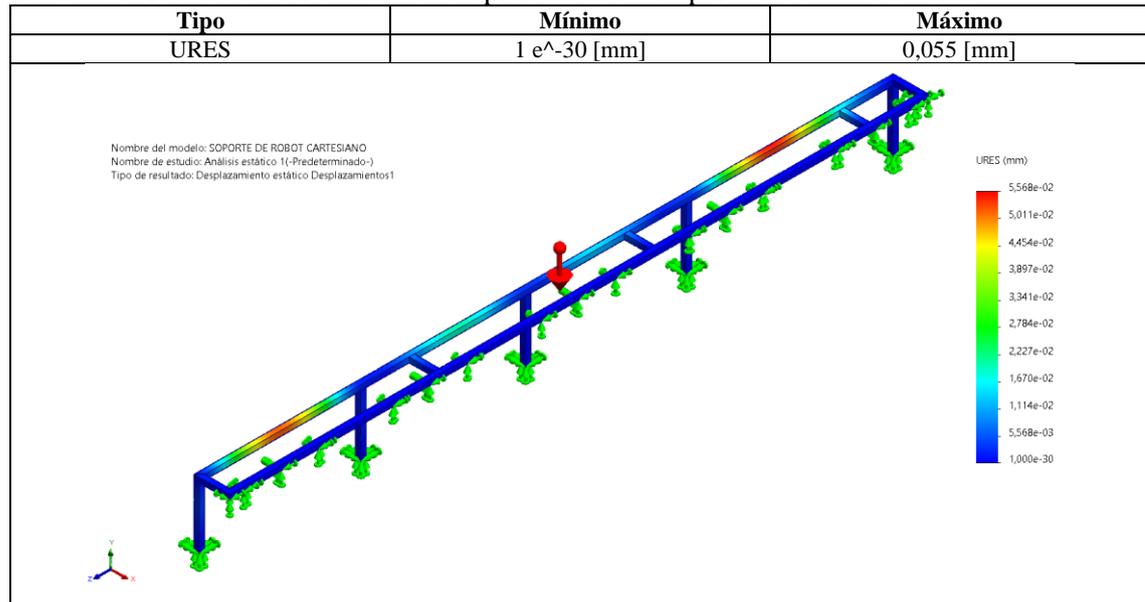
Tipo	Mínimo	Máximo
VON: Tensión de von Mises	21,61 [N/m ²]	2877000 [N/m ²]
		

Realizado por: Quinllin H., 2024

La tensión máxima que experimenta el soporte del robot cartesiano es de 2877000 [N/m²], la cual se encuentra por debajo del límite elástico establecido en 250000000 [N/m²]. Se puede concluir que el material no es afectado por la tensión aplicada.

En la siguiente tabla se presenta el resultado del estudio de desplazamiento en el soporte del robot cartesiano.

Tabla 3-6: Resultado del estudio de desplazamiento – Soporte del robot cartesiano



Realizado por: Quinllin H., 2024

En la tabla 3-6, se registra un desplazamiento máximo en el soporte de 0,055 mm, con ello se puede concluir que la estructura tiene un desplazamiento considerado despreciable, indicando una estabilidad satisfactoria. Este resultado indica que el material seleccionado para la construcción no será afectado negativamente por la fuerza máxima a la que está sometida.

3.12 Hardware

Una vez realizado el cálculo de los torques para los motores, tanto del movimiento principal, como del movimiento secundario y haber validado el diseño CAD a través de un análisis estático, se efectúa el detalle de los componentes electrónicos para asegurar un correcto funcionamiento y rendimiento general del sistema.

3.12.1 Interfaz CNC

La interfaz CNC es la System SF-2100 se puede visualizar en la ilustración 3-16, el cual es el componente principal de la implantación para el proceso de soldadura, ya que se encarga de adquirir, procesar, controlar y visualizar las funciones generada por el código de lenguaje G y M, es el adecuado para la implementación ya que consta con una protección a perturbaciones de plasma, rayos y sobretensiones, además de administrar los archivos desde una unidad USB, a continuación se detalla las características principales la interfaz CNC en la tabla 3-7.



Ilustración 3-16: Interfaz CNC
Realizado por: Quinllin H., 2024

Tabla 3-7: Características técnicas de la interfaz CNC - SF2100

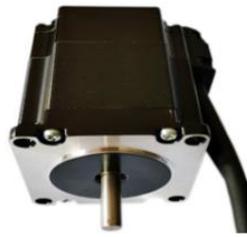
Especificaciones	System SF - 2100
Procesador	ARM7 (Advanced RISC Machine)
Entorno de programación	Código G y M
Entrada / Salidas	7 canales de entrada y 4 canales de salida (asilamiento óptico)
Velocidad máxima	24000 mm/min
Software	FASTCAM
RAM	4 GB
Almacenamiento	Disco duro
Pantalla	LCD en color de 7in
Dimensiones	298 x 202 x 55 mm
Tipo de alimentación	Cable de 24V/2A
Frecuencia de trabajo	2,4 GHz
USB	1

Fuente: Manual de usuario del sistema CNC de llama y plasma SF-2100-C, 2023
Realizado por: Quinllin H., 2024

3.12.2 Motor

El motor de pasos es el componente encargado de convertir la energía eléctrica en movimiento de la implementación, el cual genera movimientos en los ejes de acción del robot cartesiano. En la ilustración 3-17 se presenta visualmente el motor de pasos seleccionado para la implementación y en la tabla 3-8 las características técnicas correspondientes:

Motor de paso Nema



57H076H-3004H-002

Ilustración 3-17: Motor de pasos Nema 23 - 57H076H
Realizado por: Quinllin H., 2024

Tabla 3-8: Características técnicas de motor de pasos

Especificaciones	Motor de pasos
Voltaje de alimentación	24 V
Torque (24V CC)	17 Kg-cm
Precisión	Muy Alto
Velocidad	Alto
Fases	2
Inductancia	3,7 mH ± 20% (1 KHz)

Fuente: DATASHEET, 2023
Realizado por: Quinllin H., 2024

Los motores de paso seleccionados para la implementación son los encargados de dar movilidad al robot cartesiano en los ejes Y-X, debido a su alto torque a velocidades bajas, con una precisión extremadamente alta en sus movimientos.

3.12.2.1 Drives de motores

Para poder controlar el movimiento de los motores de paso se hace uso de drivers que son configurados al nivel de corriente que maneja cada motor. Los drivers OS57 representado en la ilustración 3-18 y cuyas características se representan en la tabla 3-9.



OS57
Ilustración 3-18: Driver de motores
Realizado por: Quinllin H., 2024

Tabla 3-9: Características técnicas del driver de motores

Especificaciones	OS57
Voltaje de entrada	24 - 48 V
Salida de corriente	0,5 – 4 A
Potencia máxima	160 W
Micro Step	1, 4, 8, 16, 32
Peso	200 g

Fuente: DATASHEET OS57, 2023

Realizado por: Quinllin H., 2024

Basado en las características de potencia máxima se opta por la selección de este driver OS57 para el control de los motores de pasos 57H076H empleados en el movimiento del eje Y-X, que corresponde al movimiento longitudinal y transversal respectivamente, además se fundamentan en su capacidad para gestionar efectivamente los movimientos necesarios, asegurando un control preciso y fiable.

3.12.3 Actuador lineal

Para poder realizar el movimiento del eje Z, el cual corresponde a la altura de la viga IPE con la antorcha de soldadura, se emplea un actuador lineal visualizado en la ilustración 3-19, el cual desplaza su embolo que alberga los elementos de sujeción entre la antorcha y el actuador, tal como se representa en la ilustración 3-11, además se proporciona información de las características técnicas en la tabla 3-10.

El control del actuador lineal se encuentra asociado al driver de soldadura MIG, lo que posibilita una coordinación efectiva, un control simultáneo y fluido entre la antorcha de soldadura y la altura con respecto a la viga IPE, sincronizando la ejecución del proceso.



ELÉCTRICO

Ilustración 3-19: Actuador lineal

Realizado por: Quinllin H., 2024

Tabla 3-10: Características técnicas de los actuadores lineales

Especificaciones	Eléctricos
Elementos de control	Voltaje
Desplazamiento	Variable
Velocidad	Baja
Torque	Alto
Controlador	Driver
Dimensiones	Grandes

Fuente: DATASHEET ACTUADO
 Realizado por: Quinllin H., 2024

Para la implementación se tiene un actuador lineal eléctrico debido a que permite desplazamientos controlados por driver a bajas velocidades para obtener mayor precisión, además de que la interfaz CNC cuenta con salidas de control por voltaje lo que facilita la implementación del actuador.

3.12.4 Drive de soldadura MIG

El controlador de la soldadora MIG desempeña un papel importante en la activación y desactivación de la antorcha, así como en el accionamiento del actuador lineal eléctrico. Estos movimientos son gestionados con la programación que se le indique en la interfaz CNC, con el objetivo de lograr un control preciso sobre los movimientos del eje Z. El drive de soldadura a implementarse es el controlador SF-HC25J2, se muestra en la ilustración 3-20 y las características técnicas se evidencian en la tabla 3-11.



Ilustración 3-20: Driver de soldadura MIG - SFHC25J2
 Realizado por: Quinllin H., 2024

Tabla 3-11: Características técnicas del driver de soldadura

Especificaciones	SF-HC25J2
Potencia	DC24V \pm 10% 3A
Motor aplicable	24V CC
Temperatura de trabajo	-10 ~ 60 °C
Sistema de detección	Divisor de voltaje de arco aislado
Peso	0,6 Kg

Fuente: DATASHEET SF-HC25J2, 2023

Realizado por: Quinllin H., 2024

Se considera este drive debido a su capacidad para funcionar a temperaturas de hasta 60 °C, además de su sistema de detección como el divisor de voltaje de arco aislado que favorece a la coordinación de los movimientos entre el actuador y la antorcha de soldadura con un sistema de detección para la activación o desactivación de soldadora MIG.

3.13 Conexión del hardware de la implementación

Finalizando la descripción de los elementos utilizados en la implementación, se procede a realizar las conexiones entre cada componente, esto permitirá visualizar como está estructurado el esquema de conexiones para comprender la interconexión y coordinación entre los distintos elementos del sistema.

El diseño detallado de las conexiones incluirá la integración de los motores, el actuador lineal, los drives de soldadura MIG, la antorcha de soldadura y la interfaz.

3.13.1 Esquema de conexión de la implementación

La ilustración 3-21 presenta el esquema de conexión de los componentes, en la que destaca el driver de soldadora MIG - SFHC25J2 como elemento central. También destaca la interfaz CNC System SF-2100, encargada de controlar el funcionamiento de los elementos según las órdenes emitidas por el código de lenguaje G y M.

El driver SFHC25J2 asume la responsabilidad de regular la altura y gestionar la activación o desactivación de la antorcha de soldadura. Esta función permite un control preciso sobre la soldadora MIG, asegurando un rendimiento seguro durante la operación.

La interfaz CNC System SF-2100, por otro lado, cumple con la función de controlar los motores a través de los drivers OS57. Esta coordinación permite el movimiento sincronizado del sistema, respondiendo de manera adecuada a las instrucciones.

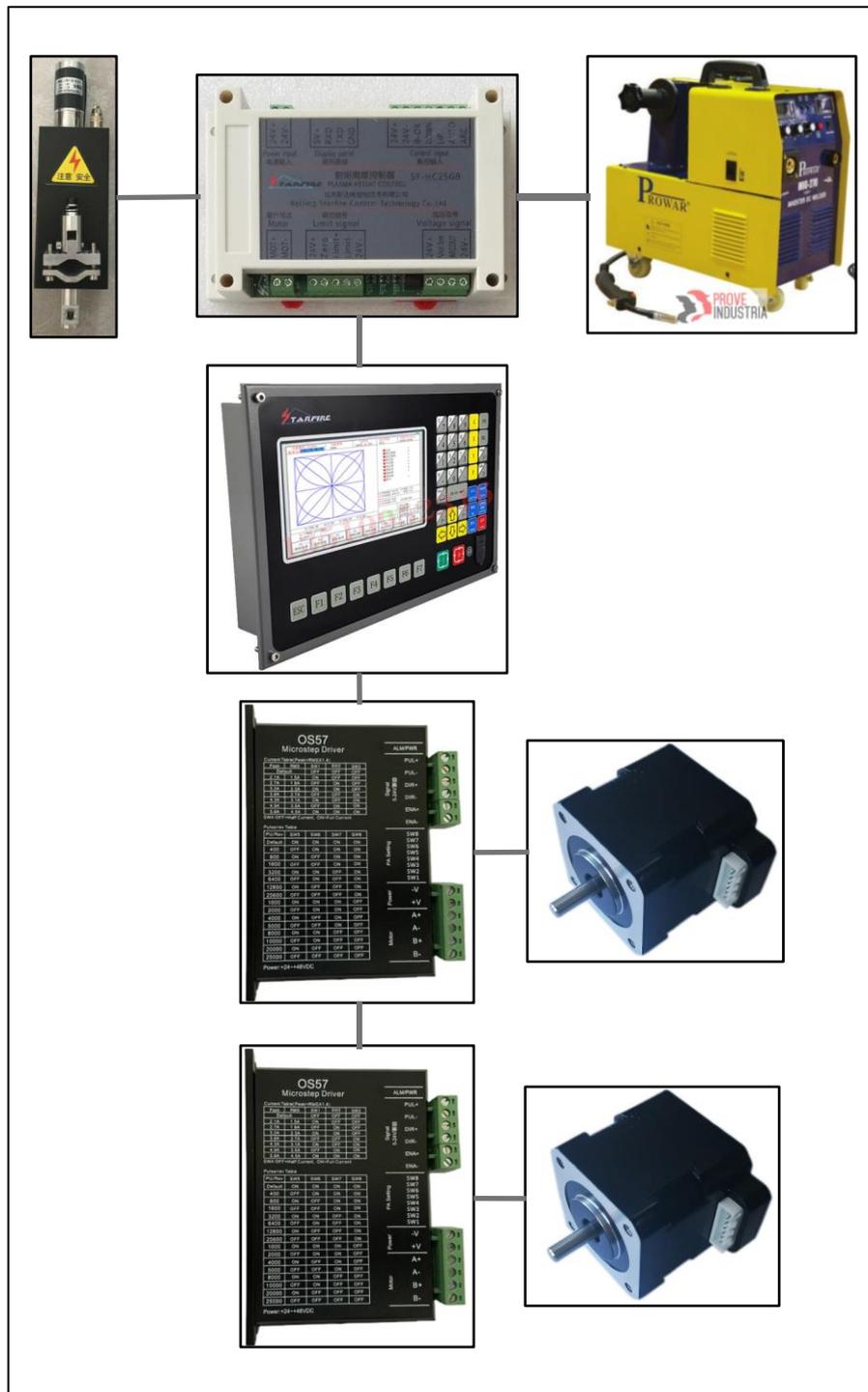


Ilustración 3-21: Esquema de conexión de la implementación
 Realizado por: Quinllin H., 2024

Se presenta un diagrama que muestra la disposición y organización estratégica de todos los elementos electrónicos esenciales para la ejecución automatizada del proceso de soldadura MIG, proporcionando una visión clara de la integración tecnológica.

3.13.1.1 Conexión de driver SFHC25J2 con soldadora MIG y actuador lineal.

En la ilustración 3-22 se observa la conexión del driver controlador de la soldadora MIG, el actuador lineal y la interfaz CNC SF-2100, en el que se detalla de manera visual la interconexión entre estos componentes.

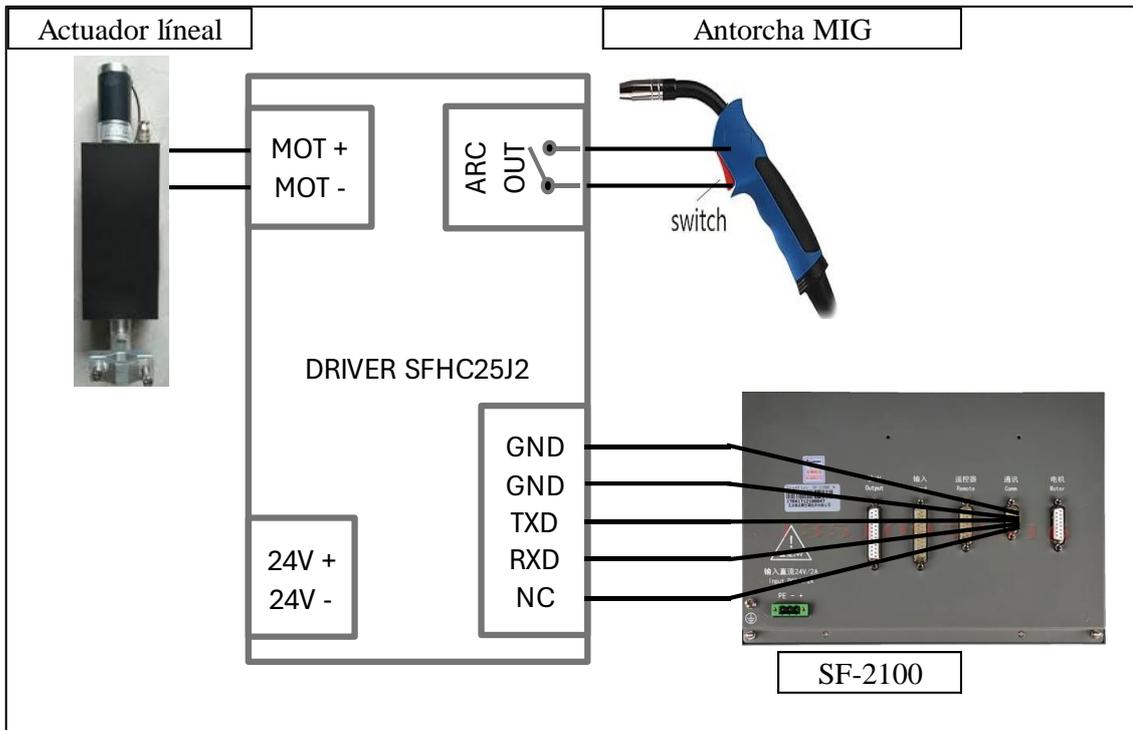


Ilustración 3-22: Conexión de driver SFHC25J2 con actuador y antorcha
 Realizado por: Quinllin H., 2024

Las señales emitidas por el driver de soldadura MIG SFHC25J2 hacia el actuador y la antorcha de la soldadora MIG establecen sus conexiones a través de los pines específicos de la interfaz CNC SF-2100. Estos pines son detallados en la siguiente tabla 3-12, actúan como puntos de interconexión que facilitan la comunicación y coordinación entre cada componente.

Tabla 3-12: Pines de conexión del interfaz FS-2100 con el driver SFHC25J2

Equipo	Pin	Pin controlador SF-2100
Driver SFHC25J2	ARC OUT 1	RXD – 1
Antorcha MIG	ARC OUT 2	NC – 2
Driver SFHC25J2	MOT +	TDX – 3
Actuador lineal	MOT -	GND – 4

Realizado por: Quinllin H., 2024

3.13.1.2 Conexión de drivers OS57 y motores de paso

El diagrama presentado en la ilustración 3-23 proporciona una representación visual detallada de cómo se establecen las conexiones entre los motores de paso, los drivers OS57 y la interfaz CNC FS-2100.

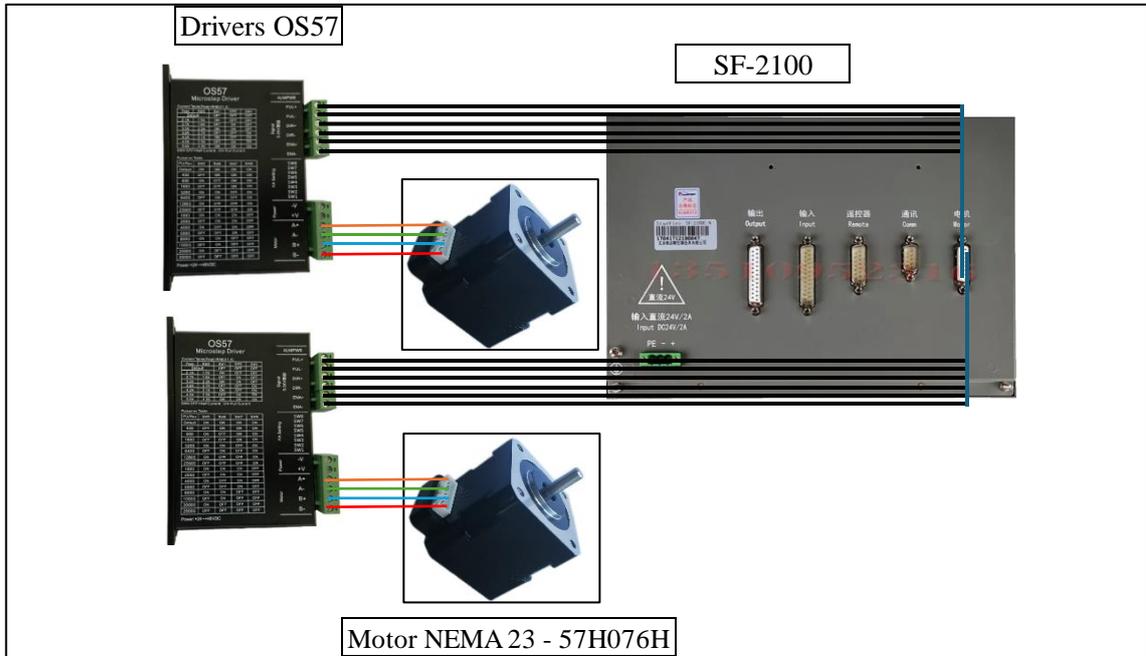


Ilustración 3-23: Conexión de SF-2100 con drivers OS57 y motor Nema 23 – 57
Realizado por: Quinllin H., 2024

Las conexiones entre los drives OS57 y cada motor se llevan a cabo a través de los pines específicos, lo cuales se detalla en la tabla 3-13:

Tabla 3-13: Pines de conexión de los drives con los motores

Equipo		Componente	
Driver OS57 - 1	A+	Motor NEMA 23 - 1	Ware 1
	A-		Ware 2
	B+		Ware 3
	B-		Ware 4
Driver OS57 - 2	A+	Motor NEMA 23 - 2	Ware 1
	A-		Ware 2
	B+		Ware 3
	B-		Ware 4

Realizado por: Quinllin H., 2024

La tabla 3-13, proporciona información clara sobre las designaciones de pines para cada motor, estableciendo claramente los puntos de conexión que permiten la correcta comunicación.

3.14 Conexión de los componentes hardware

Una vez lista las bases y las partes de la implementación se procedió en primera instancia a visualizar las conexiones entre la interfaz CNC – FS210, el driver de la soldadora MIG y de los motores, ilustración 3-24.

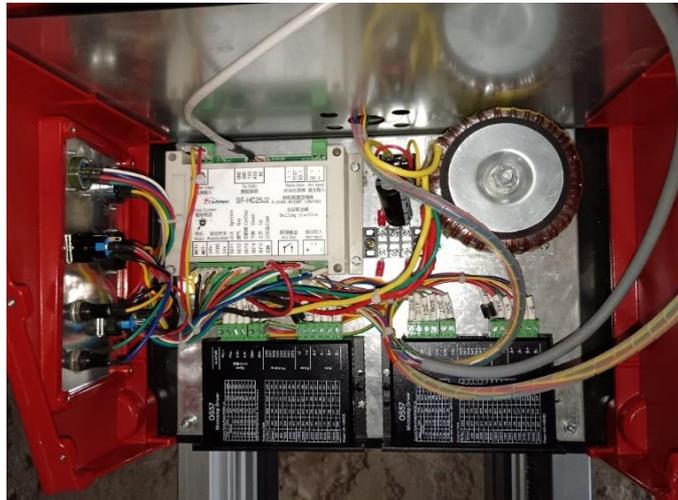


Ilustración 3-24: Conexión de los componentes hardware
Realizado por: Quinllin H., 2024

Se verifica que exista la correcta disposición y conexión de los elementos esenciales del sistema, sentando las bases para la siguiente fase del montaje de la implementación.

3.15 Construcción de los soportes para la implementación

La construcción de las bases para la implementación comienza con el ensamble de los marcos de tubería cuadrada de acero negro A36, siguiendo las dimensiones y materiales establecidos en el modelado CAD. Se emplean diferentes operaciones, entre las que se incluye el soldado, cortado y armado de los soportes, como se muestran en la ilustración 3-25.



Ilustración 3-25: Armado de marcos de las bases
Realizado por: Quinllin H., 2024

Posteriormente, se lleva a cabo la colocación de los soportes verticales y horizontales en cada uno de los marcos destinados a los soportes de la implementación, siguiendo las especificaciones definidas en el diseño CAD, lo que se aprecia en la ilustración 3-26.



Ilustración 3-26: Colocación de soportes verticales y horizontales
Realizado por: Quinllin H., 2024

La inclusión de soportes verticales y horizontales desempeñan una función importante al contribuir en la alineación y resistencia de los bases estructurales, además estos elementos proporcionan estabilidad y rigidez a la estructura.

3.15.1 *Ensamble de las bases del robot cartesiano y de las vigas IPE*

La base que sustenta las vigas IPE cumple una doble función al servir también como plataforma para el soporte del robot cartesiano. Se lleva a cabo una operación de soldadura para asegurar la unión firme de ambas bases, lo que asegura una conexión estable, conforme al diseño CAD, tal como se establece en la ilustración 3-27.



Ilustración 3-27: Ensamble de bases para la implementación
Realizado por: Quinllin H., 2024

Como paso final de la construcción de las bases se procede a realizar una limpieza de todas las partes soldadas. Posteriormente, se aplica una capa de pintura protectora, visible en la ilustración 3-28, con el objetivo de prevenir la corrosión del material.



Ilustración 3-28: Capa de pintura en la estructura completa de las bases
Realizado por: Quinllin H., 2024

Esta fase de acabado no solo mejora la estética del conjunto, sino que proporciona una barrera protectora, asegurando la durabilidad y resistencia a largo plazo, reflejando mejor calidad e integridad de las bases construidas.

3.16 Partes del robot cartesiano CNC

El robot cartesiano está compuesto por diversas partes, cada una de las cuales contribuye de manera íntegra su funcionamiento para llevar a cabo la operación de soldadura, estos componentes se pueden visualizar en la ilustración 3-29.



Ilustración 3-29: Partes del robot cartesiano
Fuente: Huawei Welding, 2023

La representación gráfica permite apreciar la complejidad y la interconexión entre los elementos del robot cartesiano, destacando su diseño integro para lograr un rendimiento eficiente en el proceso de soldadura.

3.16.1 Cuerpo principal del robot cartesiano

El cuerpo del robot cartesiano está construido según se presentó el diseño en CAD, albergando en su carcasa metálica los motores, la interfaz y los procesadores, así como los rodamientos y engranajes, como se muestra en la ilustración 3-30.



Ilustración 3-30: Cuerpo principal del robot cartesiano
Realizado por: Quinllin H., 2024

La estructura metálica brinda protección y soporte de los elementos internos, asegurando un funcionamiento coordinado y eficiente del robot cartesiano durante la ejecución de las operaciones de soldadura.

3.16.2 Riel guía longitudinal

El riel guía longitudinal, representado en la ilustración 3-31, es el responsable de facilitar el movimiento del eje Y, el cual abarca una longitud total de 6000 mm. Este componente se asienta sobre la base del robot cartesiano.



Ilustración 3-31: Riel guía longitudinal
Realizado por: Quinllin H., 2024

La disposición del riel guía longitudinal proporciona una guía del desplazamiento del robot cartesiano, que asegura la estabilidad requerida para el correcto funcionamiento del sistema.

3.16.2.1 Sistema de cremallera del riel guía longitudinal

Se presenta el sistema de transmisión que permite el desplazamiento del cuerpo del robot cartesiano a lo largo de 600mm, este sistema está situado en la estructura del riel guía longitudinal y se asegura mediante tornillos hexagonales, como se visualiza en la ilustración 3-32.



Ilustración 3-32: Cremallera del riel guía longitudinal
Realizado por: Quinllin H., 2024

Esta transmisión asegura una conexión firme y estable, permitiendo un desplazamiento controlado a lo largo del movimiento longitudinal.

3.16.3 Riel guía transversal

En la ilustración 3-33 se presenta el riel guía transversal, encargado de llevar a cabo el movimiento del eje X con una longitud de 1550 mm. Además de la función mencionada, el riel actúa como portador del dispositivo de elevación, ubicado en el extremo derecho.



Ilustración 3-33: Riel guía transversal
Realizado por: Quinllin H., 2024

Este diseño multifuncional se integra para facilitar el desplazamiento lateral del robot cartesiano y al mismo tiempo proporcionar el soporte necesario para la operación de soldadura.

3.16.3.1 Sistema de cremallera del riel guía transversal

Se muestra el sistema de transmisión para efectuar el movimiento del eje X, encargado de dirigir el desplazamiento transversal que sostiene el actuador lineal junto con la antorcha de soldadura, el alcance máximo de desplazamiento es 1500 mm, como se observa en la ilustración 3-34.



Ilustración 3-34: Cremallera del riel guía transversal

Realizado por: Quinllin H., 2024

La cremallera está situada en la estructura del riel, asegurada mediante tornillo hexagonales, lo que proporciona una conexión estable, facilitando el movimiento preciso y controlado a lo largo del eje X.

3.16.4 Sistema de control CNC – SF2100

El sistema de control CNC – SF2100 está posicionado en la parte frontal del cuerpo principal del robot cartesiano lo que facilita la accesibilidad, la comunicación fluida y directa entre maquina y el operador. A través de este sistema, el operador introduce los comandos necesarios para llevar a cabo el proceso de soldadura.



Ilustración 3-35: Interfaz CNC - SF2100

Realizado por: Quinllin H., 2024

El sistema de control CNC se maneja a través del código de lenguaje G para llevar a cabo el movimiento de los tres ejes principales: X-Y-Z, además del código de lenguaje M que es el responsable de activar la antorcha de la soldadora cuando se inicia el proceso operativo, el ingreso del código se realiza mediante los botones disponibles, como se muestra en la ilustración 3-35.

3.16.5 Dispositivo de elevación

El dispositivo de elevación, visualizado en la ilustración 3-36 es responsable de llevar a cabo el movimiento del eje Z. su función principal es regular la altura y el ángulo de la antorcha en relación con la viga IPE, el ángulo específico necesario para un correcto proceso de soldadura se detalla en la ilustración 2-8.

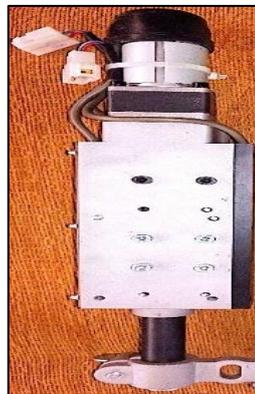


Ilustración 3-36: Actuador lineal
Realizado por: Quinllin H., 2024

El componente permite ajustes precisos, garantizando la posición óptima de la antorcha para la soldadura MIG, contribuyendo de manera significativa a la calidad.

3.16.5.1 Elemento de sujeción entre el actuador y la antorcha de soldadura.

La ilustración 3-37 representa el dispositivo que conecta el actuador y la antorcha de la soldadura MIG. Su objetivo principal es sostener la antorcha MIG y guiarla a lo largo de toda la trayectoria y operación, especialmente durante los movimientos en los ejes Y-Z.



Ilustración 3-37: Elemento de sujeción
Realizado por: Quinllin H., 2024

Este componente asegura la estabilidad de la antorcha durante la soldadura MIG, contribuyendo así a la ejecución exitosa del proceso.

3.16.6 Antorcha de soldadura MIG

La antorcha de soldadura MIG, representada en la ilustración 3-38, tiene la función de realizar la unión de las partes de la viga IPE, que son los patines y el alma. Este proceso se lleva a cabo mediante el uso de un alambre ER70S-6 sin revestimiento, con un diámetro de 0,9 mm.

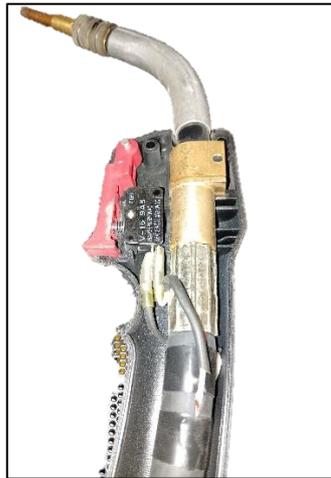


Ilustración 3-38: Antorcha de soldadura MIG
Realizado por: Quinllin H., 2024

La visualización grafica de la antorcha de soldadura MIG, proporciona una representación clara del componte que contribuye al proceso de soldadura.

3.17 Preparación de componentes

Antes de iniciar el montaje, es importante realizar una verificación de todos los componentes individuales, para ello se inspecciona cada pieza, para proceder al montaje. Esta revisión asegura que todas las partes estén listas y en condiciones óptimas para proceder al montaje, asegurando así la calidad y eficiencia del ensamble final.

3.18 Montaje completo de la implementación

La culminación de la implementación de la línea semiautomatizada de ensamble de vigas IPE, depende en gran medida de la eficiente ejecución del montaje, este proceso implica la integración cuidadosa de todos los elementos, de tal forma que asegure un funcionamiento sin problemas.

3.18.1 Montaje del riel guía longitudinal

Comienza el montaje instalando el riel guía longitudinal sobre el soporte del robot cartesiano, este componente proporciona una base sólida y estable para el resto de la estructura, como se muestra en la ilustración 3-39.



Ilustración 3-39: Montaje del riel guía longitudinal
Realizado por: Quinllin H., 2024

El acoplamiento esta dado por medio de pernos y tuercas, garantizando una unión segura y resistente, a través de esta fijación asegura una alienación correcta del riel,

3.18.2 Montaje del cuerpo principal del robot cartesiano

Con el montaje del riel guía longitudinal debidamente asegurado, procedemos a colocar el cuerpo principal del robot cartesiano sobre el riel, ingresando cuidadosamente por uno de los extremos y verificando que los rodamientos encajen correctamente para tener una correcta estabilidad al momento de realizar los movimientos en el eje Y, como se muestra en la ilustración 3-40.



Ilustración 3-40: Montaje del cuerpo principal del robot cartesiano
Realizado por: Quinllin H., 2024

3.18.3 Montaje del riel guía transversal

Continuamos el proceso de montaje, el cual corresponde a introducir el riel guía transversal a través del cuerpo principal del robot cartesiano, como se muestra en la ilustración 3-41.



Ilustración 3-41: Montaje del riel guía transversal
Realizado por: Quinllin H., 2024

Este componente permite el desplazamiento horizontal del sistema en el eje X, completando así la configuración bidimensional necesaria para la implementación.

3.18.4 Montaje del dispositivo de elevación

Avanzando con la integración de las partes, se procede al montaje del dispositivo de elevación en el extremo del riel guía transversal, como se representa en la ilustración 3-42.

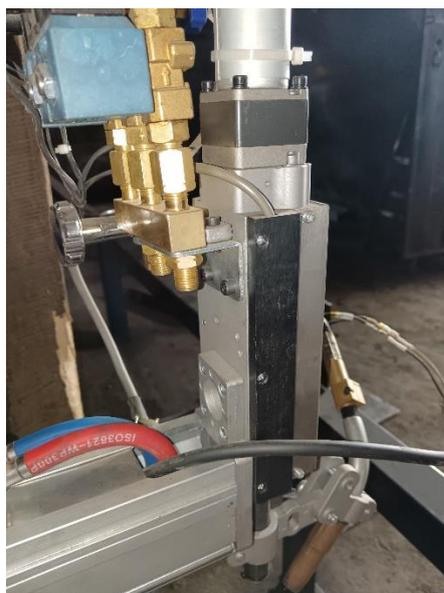


Ilustración 3-42: Montaje del dispositivo de elevación
Realizado por: Quinllin H., 2024

El acoplamiento de este dispositivo se ejecuta utilizando pernos de cabeza hexagonal, este método asegura una acople seguro y estable entre el dispositivo de elevación y el riel guía transversal, permitiendo así la regulación de la altura.

3.18.5 Montaje de la antorcha MIG

Se completa el ensamble de la implementación, con la incorporación de la antorcha de soldadura MIG en el dispositivo de elevación, mediante el elemento de sujeción, como se muestra en la ilustración 3-43.



Ilustración 3-43: Montaje de la antorcha MIG
Realizado por: Quinllin H., 2024

Este acoplamiento asegura una conexión estable entre los elementos como es el dispositivo de elevación y la antorcha MIG, permitiendo operar fluidamente durante todo el proceso de soldadura con una correcta inclinación.

3.19 Programación del robot cartesiano

La programación del robot cartesiano se realiza mediante la interfaz SF-2100, iniciando con la configuración inicial, donde se define los parámetros básicos del sistema, tales como velocidad de movimiento, coordenadas de origen y trayectoria a seguir, preparándolo para realizar las operaciones de la implementación.

3.19.1 Generación de código.

La generación de trayectorias se emplea lenguaje de código G el cual es importante, ya que se define las rutas del movimiento del robot en función de las coordenadas especiales, Además se emplea lenguaje de código M para el control de la activación o desactivación de la soldadora.

A continuación, se presenta el código para realizar la operación de soldadura automática, con los siguientes parámetros representados en la tabla 3-14:

Tabla 3-14: Parámetros para la operación de soldadura.

Número de vigas IPE	4
Designación la viga IPE	IPE 200
Dimensiones	H= 200 mm B= 100 mm L= 6000 mm e= 3 mm
Separación entre vigas	100 mm

Realizado por: Quinllín H., 2024

Con los parámetros establecidos, se presenta el código de programación con lenguaje G y M para la ejecución del proceso automatizado de soldadura MIG en la línea semiautomatizada de ensamble de vigas IPE, el cual se presenta en la ilustración 3-44.

Como se observa en la ilustración 3-44, los códigos más utilizados son:

- G92: Sistema de coordenadas (registro de posición inicial).
- G91: Coordenadas incrementales.
- M7: Activación de la antorcha de soldadura.
- G01: Movimiento con la antorcha activada.
- M3: Desactivación de la antorcha de soldadura.
- G00: Movimiento con la antorcha desactivada.

1	G92 X00 Y00	38	G00 X00 Y200	76	G01 X00 Y-300	114	G00 X00 Y200
2	G91	39	M7	77	M3	115	M7
3	M7	40	G01 X00 Y300	78	G00 X00 Y-200	116	G01 X00 Y300
4	G01 X00 Y300	41	M3	79	M7	117	M3
5	M3	42	G00 X00 Y200	80	G01 X00 Y-300	118	G00 X00 Y200
6	G00 X00 Y200	43	M7	81	M3	119	M7
7	M7	44	G01 X00 Y300	82	G00 X00 Y-200	120	G01 X00 Y300
8	G01 X00 Y300	45	M3	83	M7	121	M3
9	M3	46	G00 X00 Y200	84	G01 X00 Y-300	122	G00 X00 Y200
10	G00 X00 Y200	47	M7	85	M3	123	M7
11	M7	48	G01 X00 Y300	86	G00 X00 Y-200	124	G01 X00 Y300
12	G01 X00 Y300	49	M3	87	M7	125	M3
13	M3	50	G00 X300 Y00	88	G01 X00 Y-300	126	G00 X00 Y200
14	G00 X00 Y200	51	M7	89	M3	127	M7
15	M7	52	G01 X00 Y-300	90	G00 X00 Y-200	128	G01 X00 Y300
16	G01 X00 Y300	53	M3	91	M7	129	M3
17	M3	54	G00 X00 Y-200	92	G01 X00 Y-300	130	G00 X00 Y200
18	G00 X00 Y200	55	M7	93	M3	131	M7
19	M7	56	G01 X00 Y-300	94	G00 X00 Y-200	132	G01 X00 Y300
20	G01 X00 Y300	57	M3	95	M7	133	M3
21	M3	58	G00 X00 Y-200	96	G01 X00 Y-300	134	G00 X00 Y200
22	G00 X00 Y200	59	M7	97	M3	135	M7
23	M7	60	G01 X00 Y-300	98	G00 X300 Y00	136	G01 X00 Y300
24	G01 X00 Y300	61	M3	99	M7	137	M3
25	M3	62	G00 X00 Y-200	100	G01 X00 Y300	138	G00 X00 Y200
26	G00 X00 Y200	63	M7	101	M3	139	M7
27	M7	64	G01 X00 Y-300	102	G00 X00 Y200	140	G01 X00 Y300
28	G01 X00 Y300	65	M3	103	M7	141	M3
29	M3	66	G00 X00 Y-200	104	G01 X00 Y300	142	G00 X00 Y200
30	G00 X00 Y200	67	M7	105	M3	143	M7
31	M7	68	G01 X00 Y-300	106	G00 X00 Y200	144	G01 X00 Y300
32	G01 X00 Y300	69	M3	107	M7	145	M3
33	M3	70	G00 X00 Y-200	108	G01 X00 Y300	146	G00 X-600 Y-5800
34	G00 X00 Y200	71	M7	109	M3	147	M00
35	M7	72	G01 X00 Y-300	110	G00 X00 Y200		
36	G01 X00 Y300	73	M3	111	M7		
37	M3	74	G00 X00 Y-200	112	G01 X00 Y300		
38	G00 X00 Y200	75	M7	113	M3		

Ilustración 3-44: Código de ejecución
Realizado por: Quinllin H., 2024

A continuación, se presenta gráficamente el código de lenguaje G y M, el cual indica toda la trayectoria que sigue el proceso de soldadura MIG automatizada considerando los parámetros de la tabla 3-14, en la ilustración 3-45.



Ilustración 3-45: Trayectoria de operación
Realizado por: Quinllin H., 2024

Se observa el código representado gráficamente, en el cual las líneas de color blanco representan la trayectoria en operación el cual va comandado por el código de lenguaje G01 y G00 para poder realizar la operación de los movimientos.

Las líneas en amarillo representan la trayectoria sin operación, es decir, sin la activación de la antorcha de soldadura, los comando que dirigen esta función son el código de lenguaje M7 y M3, con ello podemos identificar las operaciones que se ejecutaran y a que parte corresponde cada línea de código.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

En este capítulo, se detallan los resultados obtenidos durante la implementación del presente trabajo, centrándose en las pruebas de funcionamiento del sistema del robot cartesiano. Además, se presenta los resultados de las pruebas realizadas establecidos en el diagrama de procesos, este análisis permitirá evaluar la eficiencia del sistema en diferentes condiciones operativas.

En el análisis de las pruebas de soldadura MIG llevadas a cabo por el robot cartesiano, se aplicará una inspección visual, considerando cuidadosamente los factores pertinentes para una selección adecuada del cordón de soldadura.

4.1 Ejecución de pruebas de soldadura

Se llevaron a cabo cuatro pruebas de soldadura, cada una con una longitud de 30 mm, considerando variaciones tanto en la velocidad de avance como en el voltaje. Estas pruebas fueron diseñadas para evaluar como estos dos parámetros críticos impactan en la calidad y características del cordón de soldadura MIG, permitiendo ajustes precisos para optimizar el rendimiento del sistema implementado.

4.1.1 Primera prueba de soldadura

En la primera prueba de soldadura, se procedió a establecer parámetros específicos con el propósito de evaluar de manera precisa la influencia de la velocidad de avance en la calidad del cordón de soldadura. Los detalles de los ajustes aplicados se presentan en la tabla 4-1.

Tabla 4-1: Parámetros de ejecución de soldadura - prueba 1

Parámetros	Unidad
Voltaje	20 Amp
Velocidad	100 mm/min
	125 mm/min
	150 mm/min
Espeso	5 mm

Realizado por: Quinllin H., 2024

Durante esta prueba, se mantuvo constante el voltaje en 20 Amperios y el espesor en 5 mm, sin embargo, se realizó variaciones en la velocidad de avance con tres niveles distintos, que permitirá analizar de manera detallada como la variación de la velocidad de avance impacta en las características del cordón de soldadura.

La ilustración 4-1 presenta de manera grafica la primera prueba de soldadura MIG llevada a cabo con el robot cartesiano. Cada instancia de la prueba se destaca las variaciones en la velocidad de avance:



Ilustración 4-1: Primera prueba de soldadura MIG

Realizado por: Quinllin H., 2024

Se evidencia la correcta ejecución de los tres cordones de soldadura MIG, como siguiente paso se procederá a realizar la comprobación mediante los factores de interpretación para asegurar la calidad y conformidad, este proceso de verificación garantizará que cada cordón cumpla con los criterios predefinidos.

4.1.1.1 Interpretación de resultados de la primera prueba de soldadura MIG

- Forma y perfil consistente: Podemos observar que los cordones de soldura con 100 mm/min presenta inconsistencia en su ancho y con 125 y 150 mm/min presenta inconsistencia en su alto esto se debe a que su velocidad es muy baja para el voltaje suministrado.
- Penetración: Los cordones de 100 y 125 mm/min no presenta una penetración correcta debido a sus inconsistencias en su ancho y alto respectivamente, por lo que el cordón con 150 mm/min presenta mejor penetración.
- Ausencia de porosidades: Los tres cordones de soldadura no existe porosidad debido a que la protección del gas CO₂ esta correctamente regulada.
- Superficie regular: Los tres cordones de soldadura se atribuyen a la ejecución precisa por parte del robot cartesiano, esto se debe a los movimientos continuos que contribuye el sistema de automatización.

4.1.2 Segunda prueba de soldadura

La segunda prueba de soldadura se procedió a establecer parámetros específicos, con igual propósito que la primera prueba de soldadura. Los detalles de los ajustes aplicados en la prueba se presenta en la tabla 4-2:

Tabla 4-2: Parámetros de ejecución de soldadura - prueba 2

Parámetros	Unidad
Voltaje	21 Amp
Velocidad	100 mm/min
	125 mm/min
	150 mm/min
Espeso	5 mm

Realizado por: Quinllin H., 2024

Durante esta prueba, se mantuvo constante el voltaje en 21 Amperios y el espesor en 5 mm, sin embargo, se realizó variaciones en la velocidad de avance con tres niveles distintos, que permitirá analizar de manera detallada como la variación de la velocidad de avance impacta en las características del cordón de soldadura.

La ilustración 4-2 presenta de manera grafica la segunda prueba de soldadura MIG llevada a cabo con el robot cartesiano. Cada instancia de la prueba se destaca las variaciones en la velocidad de avance:



Ilustración 4-2: Segunda prueba de soldadura

Realizado por: Quinllin H., 2024

Se evidencia la correcta ejecución de los tres cordones de soldadura MIG con sus respectivas velocidades, como siguiente paso se procederá a realizar la comprobación mediante los factores de interpretación para asegurar la calidad y conformidad.

4.1.2.1 Interpretación de resultados de la segunda prueba de soldadura MIG

- Forma y perfil consistente: Podemos observar que los cordones de soldadura con 100 y 125 mm/min presentan inconsistencias en su ancho esto se debe a que su velocidad es muy baja para el voltaje suministrado. Por lo que el cordón de soldadura con velocidad de 150 mm/min presenta mejor consistencia al voltaje suministrado.
- Penetración: Los cordones de 100 y 125 mm/min no presenta una penetración correcta debido a sus inconsistencias en su ancho, por lo que el cordón con 150 mm/min presenta una correcta penetración, debido a que su forma y consistencia esta uniforme.
- Ausencia de porosidades: Los tres cordones de soldadura no presentan porosidad, esto se debe a que la regulación del gas protector esta correctamente regulada.

- Superficie regular: Los tres cordones de soldadura están ejecutados con una correcta precisión por parte del robot cartesiano, esto se debe a los movimientos continuos que contribuye el sistema de automatización.

4.1.3 Tercera prueba de soldadura.

La tercera prueba de soldadura se procedió a establecer parámetros específicos, con igual propósito que la primera prueba de soldadura. Los detalles de los ajustes aplicados en la prueba se presenta en la tabla 4-3:

Tabla 4-3: Parámetros de ejecución de soldadura - prueba 3

Parámetros	Unidad
Voltaje	22 Amp
Velocidad	100 mm/min
	125 mm/min
	150 mm/min
Espeso	5 mm

Realizado por: Quinllin H., 2024

Durante esta prueba, se mantuvo constante el voltaje en 22 Amperios y el espesor en 5 mm, sin embargo, se realizó variaciones en la velocidad de avance con tres niveles distintos, que permitirá analizar de manera detallada como la variación de la velocidad de avance impacta en las características del cordón de soldadura.

La ilustración 4-3 presenta de manera grafica la tercera prueba de soldadura MIG llevada a cabo con el robot cartesiano. Cada instancia de la prueba se destaca las variaciones en la velocidad de avance:



Ilustración 4-3: Tercera prueba de soldadura

Realizado por: Quinllin H., 2024

Se evidencia la correcta ejecución de los tres cordones de soldadura MIG con sus respectivas velocidades, como siguiente paso se procederá a realizar la comprobación mediante los factores de interpretación para asegurar la calidad y conformidad.

4.1.3.1 Interpretación de resultados de la tercera prueba de soldadura MIG

- Forma y perfil consistente: Se puede observar que el cordón con una velocidad de 100 mm/min presenta inconsistencia en su ancho debido a que es demasiado vultuoso y el cordón con 150 mm/min presenta inconsistencia en su alto debido a que es poco vultuoso. El cordón con una velocidad de 125 mm/min se encuentra con una forma y perfil consistente tanto en ancho y alto.
- Penetración: Debido a que los cordones con velocidades de 100 y 150 mm/min presentan inconsistencia en forma y perfil, no presentan una correcta penetración. El cordón de soldadura de 125 mm/min presenta mejor penetración que los anteriores cordones.
- Ausencia de porosidades: Los tres cordones de soldadura no presentan porosidad, esto se debe a que la regulación del gas protector esta correctamente regulada.
- Superficie regular: Los tres cordones de soldadura están ejecutados con una correcta precisión por parte del robot cartesiano, esto se debe a los movimientos continuos que contribuye el sistema de automatización.

4.1.4 Cuarta prueba de soldadura.

La cuarta prueba de soldadura se procedió a establecer parámetros específicos, con igual propósito que la primera prueba de soldadura. Los detalles de los ajustes aplicados en la prueba se presenta en la tabla 4-4:

Tabla 4-4: Parámetros de ejecución de soldadura - prueba 4

Parámetros	Unidad
Voltaje	23 Amp
Velocidad	100 mm/min
	125 mm/min
	150 mm/min
Espeso	5 mm

Realizado por: Quinllin H., 2024

Durante esta prueba, se mantuvo constante el voltaje en 23 Amperios y el espesor en 5 mm, sin embargo, se realizó variaciones en la velocidad de avance con tres niveles distintos, que permitirá analizar de manera detallada como la variación de la velocidad de avance impacta en las características del cordón de soldadura.

La ilustración 4-4 presenta de manera grafica la cuarta prueba de soldadura MIG llevada a cabo con el robot cartesiano. Cada instancia de la prueba se destaca las variaciones en la velocidad de avance:



Ilustración 4-4: Cuarta prueba de soldadura

Realizado por: Quinllin H., 2024

Se evidencia la correcta ejecución de los tres cordones de soldadura MIG con sus respectivas velocidades, como siguiente paso se procederá a realizar la comprobación mediante los factores de interpretación para asegurar la calidad y conformidad.

4.1.4.1 Interpretación de resultados de la cuarta prueba de soldadura MIG

- Forma y perfil consistente: Podemos observar que los cordones de soldadura con 100 y 150 mm/min presentan inconsistencias en su ancho. Por lo que el cordón de soldadura con velocidad de 125 mm/min presenta mejor consistencia al voltaje suministrado.
- Penetración: Los cordones de soldadura con 100 y 150 mm/min no tienen una correcta penetración ya que al tener inconsistencias en su ancho dificultan que la suelda sea ejecutada correctamente. Por lo que el cordón de 125 mm/min presenta mejor penetración que los demás cordones.
- Ausencia de porosidades: Los tres cordones de soldadura no presentan porosidad, esto se debe a que la regulación del gas protector esta correctamente regulada.
- Superficie regular: Los tres cordones de soldadura están ejecutados con una correcta precisión por parte del robot cartesiano, esto se debe a los movimientos continuos que contribuye el sistema de automatización.

4.2 Tabla resumen de las pruebas de soldadura.

Las tablas resumen presenta los factores vs las pruebas, donde se considera la variación de la velocidad de avance con la que se ejecutó el proceso de soldadura MIG.

4.2.1 Tabla resumen con velocidad de avance de 100 mm/min

La siguiente tabla 4-5, presenta cada factor de interpretación con el número de prueba de soldadura realizada, considerando el valor del voltaje de cada prueba realizada y la velocidad de avance de 100 mm/min.

Tabla 4-5: Tabla resumen de factores y pruebas con velocidad de avance de 100 mm/min

Factor / Prueba	Forma y consistencia	Penetración	Ausencia de porosidad	Superficie regular
Prueba 1	NO	NO	SI	SI
Prueba 2	NO	NO	SI	SI
Prueba 3	SI	SI	SI	SI
Prueba 4	NO	NO	SI	SI

Realizado por: Quinllin H., 2024

Debido a que su forma y consistencia no se encuentra de uniforme, en las pruebas realizadas con una velocidad 100 mm/min, por ende, no presentan una correcta penetración por lo que no se puede considerar para la ejecución del proceso automatizado de soldadura MIG.

4.2.2 *Tabla resumen con velocidad de avance de 125 mm/min*

La siguiente tabla 4-6, presenta cada factor de interpretación con el número de prueba de soldadura realizada, considerando el valor del voltaje de cada prueba realizada y la velocidad de avance de 125 mm/min.

Tabla 4-6: Tabla resumen de factores y pruebas con velocidad de avance de 125 mm/min

Factor / Prueba	Forma y consistencia	Penetración	Ausencia de porosidad	Superficie regular
Prueba 1	NO	NO	SI	SI
Prueba 2	SI	SI	SI	SI
Prueba 3	NO	NO	SI	SI
Prueba 4	NO	NO	SI	SI

Realizado por: Quinllin H., 2024

Las pruebas 1 y 2 no pueden ser consideradas para la ejecución del proceso de soldadura MIG, debido a que no presentan una correcta forma, consistencia y penetración. A diferencia de las pruebas 3 y 4 que si presentan una correcta forma, consistencia y penetración, las cuales pueden ser consideradas para la ejecución del proceso de soldadura MIG

4.2.3 *Tabla resumen con velocidad de avance de 150 mm/min*

La siguiente tabla 4-7, presenta cada factor de interpretación con el número de prueba de soldadura realizada, considerando el valor del voltaje de cada prueba realizada y la velocidad de avance de 150 mm/min.

Tabla 4-7: Tabla resumen de factores y pruebas con velocidad de avance de 150 mm/min

Factor / Prueba	Forma y consistencia	Penetración	Ausencia de porosidad	Superficie regular
Prueba 1	NO	NO	SI	SI
Prueba 2	SI	SI	SI	SI
Prueba 3	NO	NO	SI	SI
Prueba 4	NO	NO	SI	SI

Realizado por: Quinllin H., 2024

La prueba 2 puede ser considerada para la ejecución del proceso de soldadura MIG, debido a que consta con forma, consistencia y penetración correcta, en diferencia de las otras pruebas realizadas.

4.3 Comparación con las pruebas seleccionadas

Las tres pruebas tiene resultados que cumplen con los factores establecidos, que se realizó por medio de una inspección visual con referencia a características que debe tener un correcto cordón de soldadura MIG, son las pruebas que pueden ser consideradas para la ejecución del proceso de soldadura MIG con los requerimientos establecidos.

4.3.1 Tercera prueba con velocidad de avance de 100 mm/min y 22 voltios

La cuarta prueba se visualiza en la ilustración 4-6, se establece con velocidad de avance de 100 mm/min y 22 voltios tiene resultados favorables como es la forma y consistencia, penetración, ausencia de porosidad y una superficie regular.



Ilustración 4-5: Tercera prueba con velocidad de avance de 100 mm/min y 22V

Realizado por: Quinllin H., 2024

4.3.2 Segunda prueba con velocidad de avance de 125 mm/min y 21 voltios

La tercera prueba se visualiza en la ilustración 4-5, se establece con velocidad de avance de 125 mm/min y 21 voltios tiene resultados favorables como es la forma y consistencia, penetración, ausencia de porosidad y una superficie regular.



Ilustración 4-6: Segunda prueba con velocidad de avance de 125 mm/min y 21V

Realizado por: Quinllin H., 2024

4.3.3 Segunda prueba con velocidad de avance de 150 mm/min y 21 voltios

La segunda prueba se visualiza en la ilustración 4-7, se establece con velocidad de avance de 150 mm/min y 21 voltios tiene resultados favorables como es la forma y consistencia, penetración, ausencia de porosidad y una superficie regular.



Ilustración 4-7: Segunda prueba con velocidad de avance de 150 mm/min y 21V

Realizado por: Quinllin H., 2024

4.3.4 Interpretación de las comparaciones

Se considera las tres mejores pruebas realizadas, en la que se destaca la segunda prueba que se muestra en la ilustración 4-7, con velocidad de avance de 150 mm/min y 21 voltios, esto se debe a que cumple de mejor manera con todas las especificaciones establecidas por los factores de un correcto cordón de soldadura MIG, con relación a la tercera y cuarta prueba.

Sin embargo, aún se debe evaluar el tiempo que se demora en ejecutar la operación de soldadura en los 4 vértices de la viga IPE, de tal forma que se procede a realizar una correcta selección.

4.4 Evaluación en términos de tiempo.

La velocidad es importante al momento de seleccionar los parámetros para el cordón de soldadura, por ello se toman en cuenta las tres pruebas que cumplen con los requerimientos establecidos con respecto a los factores de un correcto cordón de soldadura, para ello se realizó la tabla 4-8, donde se presenta las comparaciones de las velocidades de avance en cada prueba, teniendo como resultado el tiempo de operación en un cordón de soldadura.

Tabla 4-8: Comparación de velocidades

Prueba	Voltaje	Distancia	Velocidad de avance	Tiempo
Tercera	22 V	6000 mm	100 mm/min	60 min
Segunda	21 V	6000 mm	125 mm/min	48 min
Segunda	21 V	6000 mm	150 mm/min	40 min

Realizado por: Quinllin H., 2024

Como se visualiza en la tabla 4-8, la segunda prueba con un voltaje de 21V, una distancia de 6000mm y una velocidad de avance de 150 mm/min, obtenemos un tiempo de 40 min en la fabricación de un cordón de soldadura con las características mencionadas, siendo este el de menor tiempo empleado.

4.5 Selección del cordón de soldadura

La selección del mejor cordón de soldadura se ha llevado a cabo considerando la velocidad de avance, el voltaje, la forma y consistencia, la penetración, la ausencia de porosidad, superficie regular y el tiempo empleado.

El cordón que cumple con todos estos parámetros es la segunda prueba con voltaje de 21V, una distancia de 6000 mm, velocidad de avance de 150 mm/min y un tiempo de 40 min por cordón de soldadura, este valor del tiempo se debe multiplicar por los 4 vértices de la viga con un tiempo total empleado en toda la viga de 160 min, solo en operaciones de soldadura MIG.

4.6 Comparación entre de la soldadura manual vs la soldadura automatizada.

Para realizar la comparación entre la operación de soldadura manual y la soldadura automatizada, se procedió con el registro de la toma de tiempos empleados, mediante el uso de un cronometro, para determinar la diferencia de tiempo empleado y la realización de los cordones de soldadura en la viga IPE.

4.6.1 Operación de soldadura manual

Se procedió a realizar la medición del tiempo empleado en la operación de soldadura realizada por el operador, como se observa en la ilustración 4-8, el cual tiene un tiempo de 296 min en la realización de los 4 cordones de soldadura en la viga IPE de 6000 mm.



Ilustración 4-8: Operación de soldadura manual
Realizado por: Quinllin H., 2024

Se puede evidenciar la operación de soldadura realizada por el operador para registrar el tiempo empleado en la realización del cordón de soldadura.

4.6.2 *Tabla de comparación de tiempos en la operación de soldadura manual y automatizada*

En la siguiente tabla 4-9, se presenta la comparación de tiempos entre la soldadura manual y la soldadura automatizada en una viga IPE, considerando los mismos requerimientos de la prueba seleccionada.

Tabla 4-9: Diferencia de tiempo entre soldadura manual y automatizada

Tiempo de operación manual	Tiempo de operación automatizada	Diferencia de tiempo
296 min	160 min	136 min

Realizado por: Quinllin H., 2024

La diferencia de tiempo que se existe entre la operación de soldadura manual y la automatizada es de 136 minutos, este hallazgo indica claramente que la adopción de una línea semiautomatizada de ensamble de vigas IPE, tiene beneficios significativos, como genera reducción de tiempo, mejora de calidad y aumento de producción, además que se disminuye los reprocesos, se mejora las condiciones del operador, con beneficios en términos de salud y seguridad laboral.

4.6.3 *Tabla de comparación de operaciones entre la soldadura manual y automatizada*

El horario laboral es de 8 horas o 480 minutos, considerando este tiempo en la tabla 4-10 se muestra el número de vigas que se realiza diariamente considerando el tiempo de operación tanto manual como automatizada, donde una viga completa corresponde a cuatro cordones de soldadura.

Tabla 4-10: Diferencia de operaciones entre soldadura manual y automatizada

Operación manual	Operación automatizada	Diferencia de operaciones
1,5 Vigas IPE	3 Viga IPE	1,5 Viga IPE

Realizado por: Quinllin H., 2024

La operación realizada a través de la automatización aumenta al doble de la realizada por el método manual, es decir, mientras la operación manual tiene una viga y media realizada, la operación automatizada realiza 3 vigas completas, lo que favorece a la mecánica industrial, ya que puede satisfacer de mejor manera las necesidades del mercado.

4.7 Ventajas de la adopción del sistema automatizado

Las ventajas ayuda a que el proceso de soldadura automatizada sea una opción atractiva en diversos entornos industriales, esto se debe a que ofrece mejoras significativas en múltiples aspectos que benefician el área de implementación, entre las mejoras se encuentra:

4.7.1 *Consistencia y precisión*

Los sistemas automatizados, como la aplicación del robot cartesiano, ejecutan movimientos de soldadura con precisión y regularidad. Esta tecnología elimina las diferencias que pueden surgir debido a la intervención humana, asegurando resultados uniformes y de alta calidad, de tal manera que el proceso sea más confiable, lo que significa que las piezas soldadas tendrán una mayor consistencia y cumplirá con los estándares de calidad.

4.7.2 *Aumento de la productividad*

La automatización posibilita la realización de soldaduras de forma continua y sin interrupciones, lo que resulta en un aumento de la producción al eliminar los periodos de inactividad, debido a que se lleva a cabo de manera eficiente y constante, sin la necesidad de realizar pausas en la operación, lo que contribuye a una mayor eficiencia en el flujo de trabajo.

4.7.3 *Reducción de errores humanos*

Al eliminar la intervención humana directa en el proceso de soldadura, se reduce significativamente los errores que suelen surgir debido a la fatiga, la distracción o las variaciones en las técnicas de soldadura. Esta automatización garantiza una ejecución con mejor calidad y fiabilidad de los cordones de soldadura, lo que ayuda a reducir costos asociados con reprocesos.

4.7.4 *Flexibilidad en la programación*

La integración de un sistema de control numérico facilita ajustes rápidos y la adaptación a diversos requisitos, esto permite modificar fácilmente los parámetros de soldadura según las necesidades específicas del proyecto o las características de los materiales, además se logra una mayor flexibilidad en el proceso de soldadura, lo que permite afrontar con eficacia una variedad de situaciones y optimizar la producción según las demandas del mercado.

CAPÍTULO V

5. GESTIÓN DEL PROYECTO

La gestión del proyecto se llevó a cabo de manera integral y eficiente, enfocándose en coordinar y supervisar cada fase con precisión, desde la planificación inicial hasta la ejecución y evaluación de las pruebas, donde se implementaron estrategias sólidas para garantizar la consecución de los objetivos establecidos.

5.1 Cronograma

En la tabla 5-1 se muestra el cronograma con las actividades ejecutadas para la implementación del sistema automatizado de soldadura MIG para el ensamble de vigas IPE.

Tabla 5-1: Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	TIEMPO DE DURACIÓN (SEMANAS)															
	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Investigación preliminar																
Detalle de especificaciones de las vigas IPE																
Diseño y análisis del CAD para el sistema del robot cartesiano																
Detalle del hardware para el robot cartesiano																
Conexiones del hardware del sistema de soldadura																
Generación del código G y M para la implementación																
Implementación del sistema para el robot cartesiano y soldadura																
Análisis de los resultados obtenidos de la implementación.																

Realizado por: Quinlín H., 2024

El cronograma ayuda a comprender la planificación temporal y el desarrollo de las actividades de la implementación, donde la secuencia de las actividades revela la estructura lógica y el progreso del proyecto.

5.2 Costos de la implementación del proyecto técnico

Al concluir el desarrollo de cualquier proyecto que involucra la construcción de nuevos sistemas, es importante llevar a cabo una revisión y evaluación de los recursos financieros y así poder determinar los beneficios generales en comparación con posibles competidores.

5.2.1 Costos directos

En la tabla 5-2 se muestra los costos directos asociados con el desarrollo y construcción de la implementación mismo que se encuentra agrupado de forma global en cuatro componentes principales, siendo las bases estructurales, componentes mecánicos, componentes electrónicos, eléctricos y la mano de obra directa.

Tabla 5-2: Costos directos del sistema implementado

Descripción	Cantidad	Precio unitario USD	Precio total USD
Base estructural del robot cartesiano	1	138,22	138,22
Base estructural de las vigas IPE	1	379,23	379,23
Componentes mecánicos	1	510,20	1510,20
Componentes electrónicos	1	390,55	1390,55
Mano de obra directa	1	100,00	100,00
TOTAL (USD)			2518,20

Realizado por: Quinllin H., 2024

Tenemos un costo directo de 1518,2 USD el cual abarca todos los componentes utilizados en la implementación de la línea semiautomatizada de ensamble de vigas IPE.

5.2.2 Costos indirectos

Analizados los costos directos de la implementación se realizó con el cálculo de los costos indirectos asociados a los gastos que se generaron a partir de las actividades en la fabricación de los componentes estructurales, mismo que se presentan en la tabla 5-3.

Tabla 5-3: Costos indirectos del sistema implementado

Descripción	Costo USD
Transporte	150,00
Imprevistos	400,00
TOTAL (USD)	550,00

Realizado por: Quinllin H., 2024

El valor de los costos indirectos corresponde a 190,00 USD, el mismo que será tomado en cuenta para el cálculo del costo total.

5.2.3 Costos totales

El costo total corresponde a la suma de los costos directos e indirectos de la implementación, en la que se procede en la tabla 5-4 a calcular el costo total del desarrollo del proyecto técnico.

Tabla 5-4: Costo total del sistema implementado

Descripción	Costo USD
Costos directos	2518,20
Costos indirectos	550,00
TOTAL (USD)	3068,20
Fuente de financiamiento	Autónomo

Realizado por: Quinllin H., 2024

Del análisis económico se obtuvo que el costo total invertido en el sistema implementado es de 3068,20 USD, mismo que fue financiado en su totalidad por la Mecánica Industrial QUINMETAL.

5.2.4 Recurso humano

El principal recurso humano es del autor de este proyecto técnico, Henry Quinllin quien, con su compromiso con el trabajo, permitieron alcanzar los objetivos propuestos y la meta del trabajo de titulación.

Además de un maestro mecánico para la fabricación de las bases estructurales en la cual va soportado todo el sistema de implementación.

CONCLUSIONES

A partir del estudio del arte se concluye los parámetros necesario para la implementación del sistema automatizo de soldadura para vigas IPE, es la aplicación de tres fases que consiste; el primero es la configuración del robot cartesiano por medio de la interfaz CNC, que se genera mediante un código de lenguaje G y M, posteriormente en la fase dos se realiza los movimientos de forma longitudinal y transversal controlados por dos drivers OS57, por último la activación de la antorcha de soldadura MIG y la regulación de la altura del actuador, mediante el driver SF-HC25J2.

El diseño CAD se realizó mediante el software de SolidWorks, en el que se realizó el modelado del cuerpo del robot cartesiano, sus elementos mecánicos como los engranajes, rodamiento y cremallera. Se realizó la estructura del soporte del robot cartesiano y el soporte de las vigas en base a las características necesarias que deben cumplir el sistema de soldadura automatiza, la misma que fue validada con una simulación que enfatiza las partes de la estructura que soporta mayores cargas, siendo la de mayor esfuerzo una tensión máxima de 25 MPA, un límite elástico 250 MPA y un desplazamiento máximo de 2,262 mm.

La implementación del sistema semiautomatizado para ensamble vidas IPE, se realizó según el diseño CAD establecido, cumpliendo todos los parámetros y dimensiones necesarias para asegurar la integración efectiva de los componentes y la sincronización adecuada de las operaciones, en donde se utilizó la mano de obra directa de la mecánica industrial para la fabricación de los componentes estructurales, con la integración de un robot cartesiano para llevar a cabo la operación de soldadura, el mismo que ha demostrado ser eficiente y preciso en sus movimientos de los ejes X-Y-Z.

La eficiencia del funcionamiento se llevó a cabo con la aplicación de unas pruebas de soldadura variando los parámetros de velocidad de avance y voltaje, en una viga IPE de 6000 mm con un espesor de 5 mm, en la que se obtuvo la selección del mejor cordón de soldadura el cual corresponde a la segunda prueba con una velocidad de 150 mm/min, un voltaje de 21V, con un tiempo total de la operación de 160 min, se evidencio de forma visual una correcta forma y consistencia, la penetración, la ausencia de porosidad y superficie regular.

RECOMENDACIONES

Generar programas de capacitación continua para el personal encargado de operaciones, de tal forma que la mecánica industrial QUINMETAL, asegure la prestación de un servicio óptimo a sus clientes, dando una disponibilidad completa del sistema y genere una eficiencia en la utilización del sistema automatizado de soldadura.

Establecer un sistema de monitoreo y evaluación del rendimiento, con la recopilación de datos sobre la eficiencia y calidad del producto, que permita tomar decisiones para mejorar continuamente los procesos y resultados.

Complementar con un sistema inalámbrico que se monitoree desde las oficinas para llevar mayor control del manejo de la máquina CNC y evitar que existan inconvenientes a corto o largo plazo.

Agregar un plan de mantenimiento preventivo regular para el sistema de transmisión, realizando inspecciones periódicas, ajustes y reemplazos de componentes según sea necesario contribuir a prevenir posibles fallas y maximizar la vida útil de la maquinaria.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ANGULO POZO, David Adolfo & CARVAJAL ECHE, Edison Iván.** Diseño de una matriz ensambladora de vigas tipo I para usos en la construcción de edificios. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Politécnica Nacional, (Quito-Ecuador). 2009. págs. 14-15. [Consulta: 2024-02-27]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1629>
2. **BROTÓNS, Pascual.** *Construcción de estructuras metálicas*. 4ª ed. Alicante-España: Club Universitario, 2009, págs. 9-10
3. *Datasheet actuador*. [blog]. [Consulta: 27 febrero 2024]. Disponible en: https://content.smcetech.com/pdf/LEJ_ES.pdf.
4. *Datasheet os57*. [blog]. [consulta: 27 febrero 2024]. Disponible en: https://korean.tradechina.com/High-quality-OS57-24V-48V-cnc-Motor-Driver-stepper_74031972.html.
5. *Datasheet sf-hc25j2*. [blog]. [consulta: 27 febrero 2024]. Disponible en: <https://cnc-warehouse.com/product/starfire-sf-hc25k-thc-plasma-automatic-torch-height-controller/>.
6. **EWM GMBH.** *Soldadura MIG/MAG*. [en línea]. [consulta: 24 enero 2024]. Disponible en: <https://www.ewm-group.com/es/fachwissen/mig-mag-schweissen-grundlagen.html>.
7. **HUAWEI WELDING.** *Manual de usuario del sistema CNC de llama y plasma SF-2100-C*. [en línea]. [consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://manuals.plus/es/cnc/sf-2100-c-flame-plasma-cnc-system-manual>.
8. **JINGGONG.** *Máquina de soldadura de viga H*. [blog]. [consulta: 24 enero 2024]. Disponible en: <http://jgrollformingmachine.es/steel-structure-machine/2a-beam-welding.html>.
9. **KEYENCE.** *Conceptos básicos de soldadura automatizada*. Ciudad de México-México: Cuauhtémoc, 2023, págs.4-37
10. **MINCHALA, Ismael & AIVAR TOSCANO, Gissela Elizabeth.** Diseño de un robot cartesiano para ordenar elementos electrónicos. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Técnica de Ambato, (Ambato-Ecuador). 2009. págs. 14-15. [Consulta: 2024-02-20]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/288>

11. **NTE INEN 2 230:2000.** *Perfiles estructurales I de acero laminados en caliente. Requisitos. (Serie IPE).*

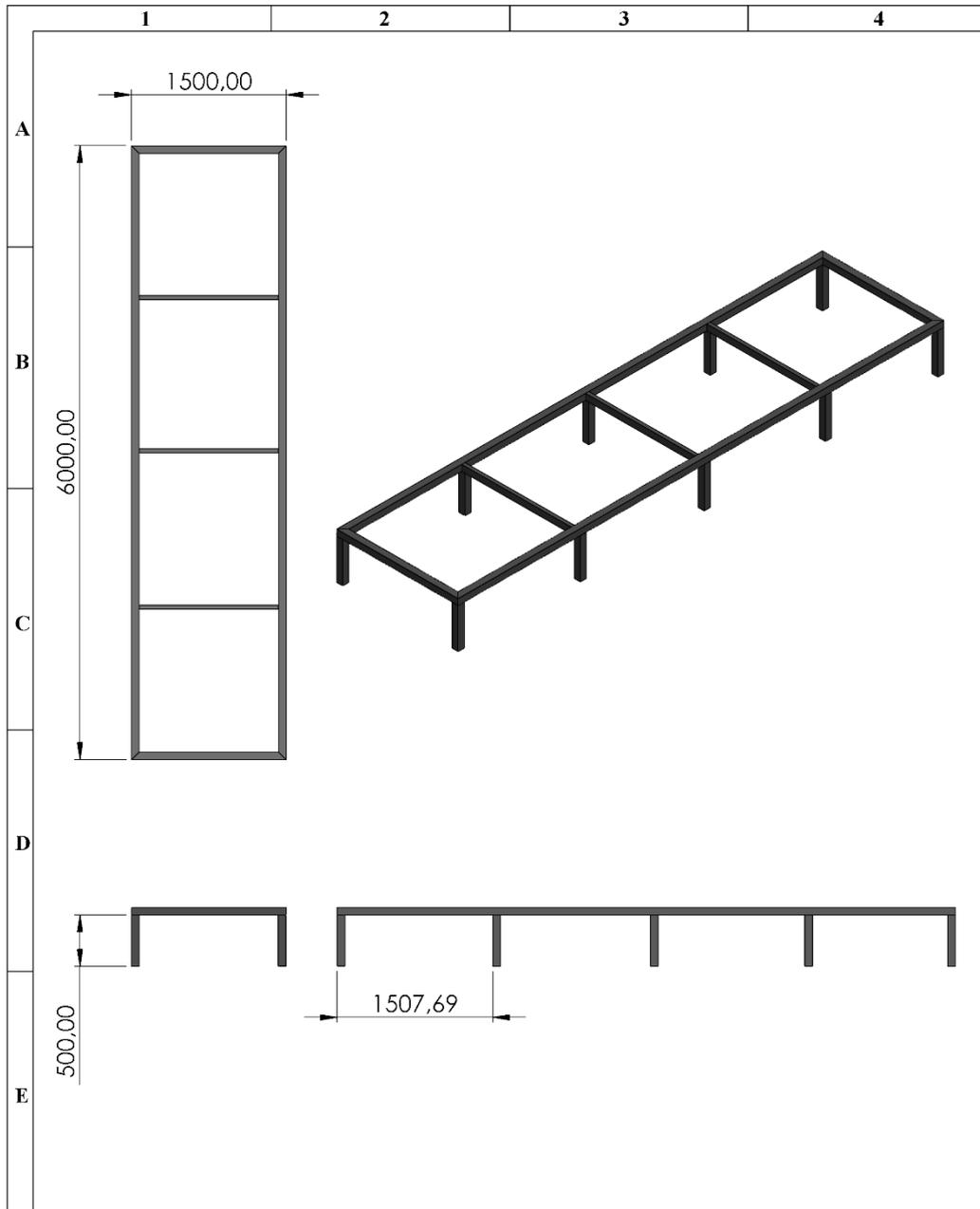
12. **PRIMO AUTOMATION SYSTEMS PVT LTD.** *PTW - Pull Through Welding Machine & systems.* [blog]. [consulta: 24 enero 2024]. Disponible en: <https://www.primoautomation.com/Welding/Pull-Through-Welding-Machine.php>.

13. **RTE-040-1R.** *Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 040 (1R) “Soldadura de estructuras de acero”*

14. **YANGSHAN TOWN HUIZHAN DISTRICT.** *Beam Assembly Welding.* [blog]. [consulta: 24 enero 2024]. Disponible en: <https://lemarwelding.en.made-in-china.com/product/HwitlfgzgFcJ/China-YTJ-H-Beam-Assembly-Welding-and-Flange-Straightening-Machine.html>.

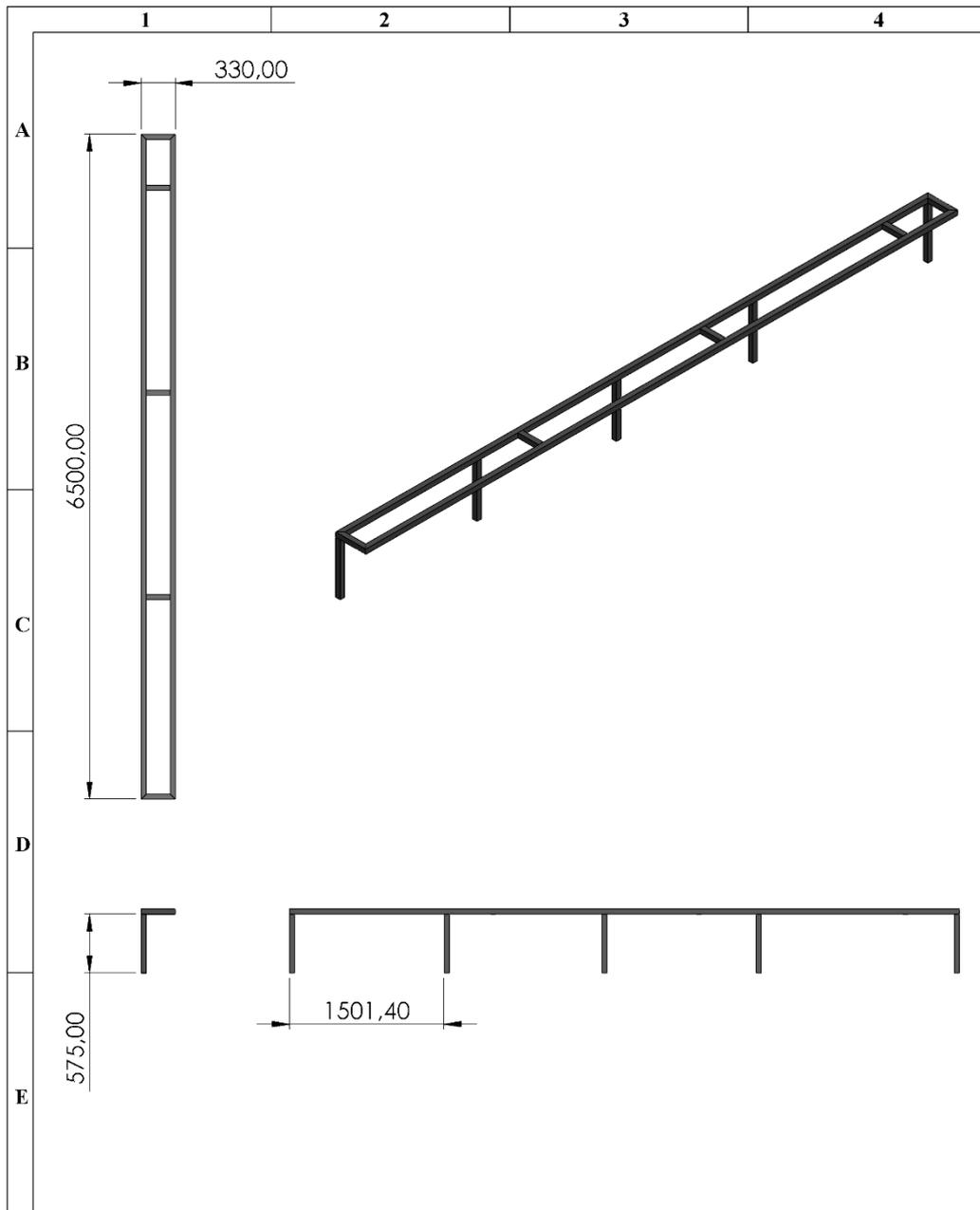
ANEXOS

ANEXO A: PLANOS DEL SOPORTE DEL ROBOT CARTESIANO Y VIGAS IPE



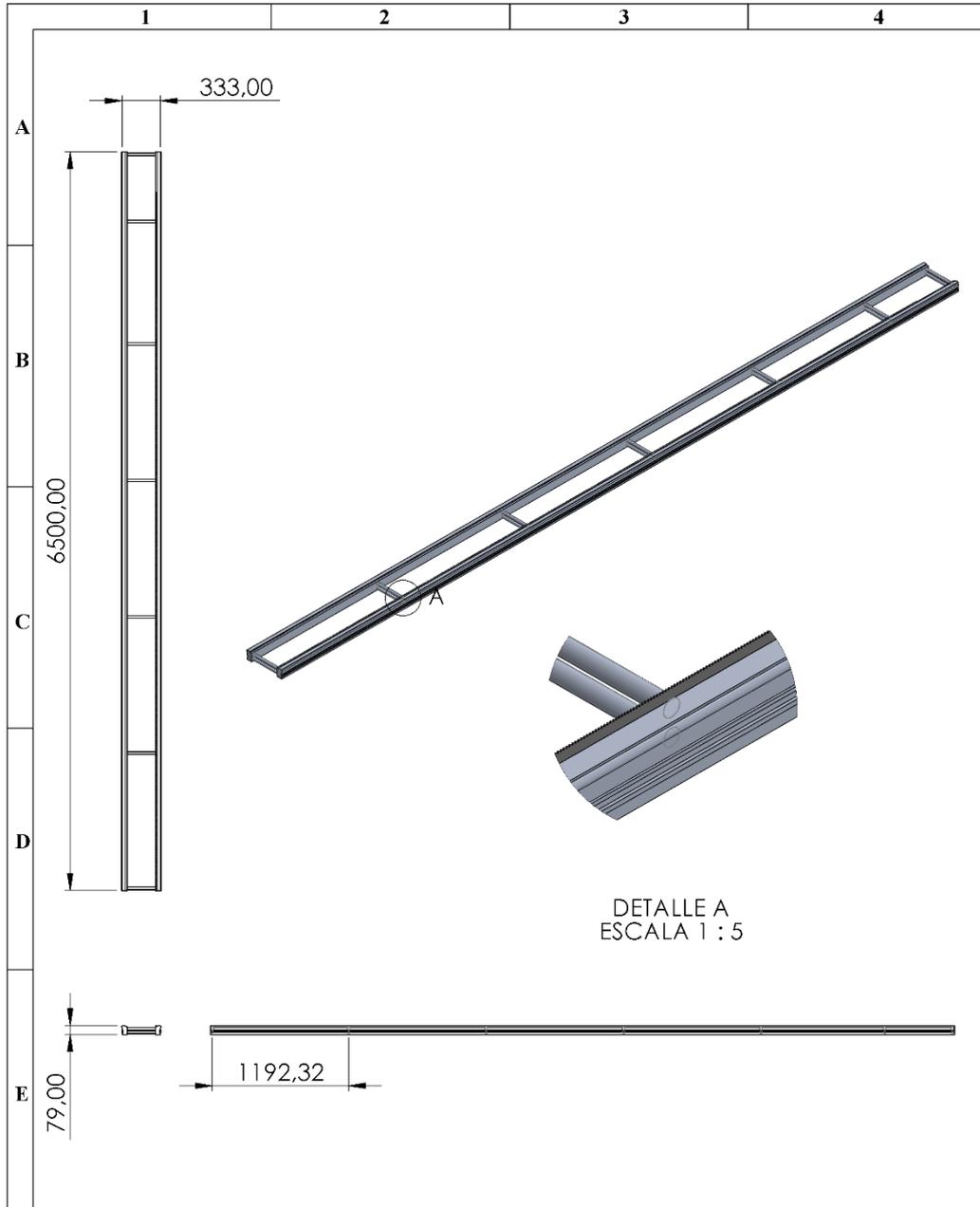
N°. Lámina: 1 de 7		N°. Hojas: 7		Sustitución:		Codificación: ESPOCH-FM-CII-001-20240309		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL													
Email: henry.quinlin@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0999944355						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro			
Datos		Nombre		Firma		Fecha		SOPORTE DE VIGAS IPE				148,78		±0.5 [mm]		1:1					
Proyectó		Quinlin Henry				2024-03-09						Materiales: Tubo cuadrado de 75 x 2 mm en Acero Negro A36									
Dibujó		Quinlin Henry				2024-03-09															
Revisó		Ing. García Eduardo				2024-03-09															
Aprobó		Ing. García Eduardo				2024-03-09		Nombre de archivo: SOPORTE DE VIGAS IPE.sldprt													

ANEXO B: PLANOS DEL SOPORTE DEL ROBOT CARTESIANO



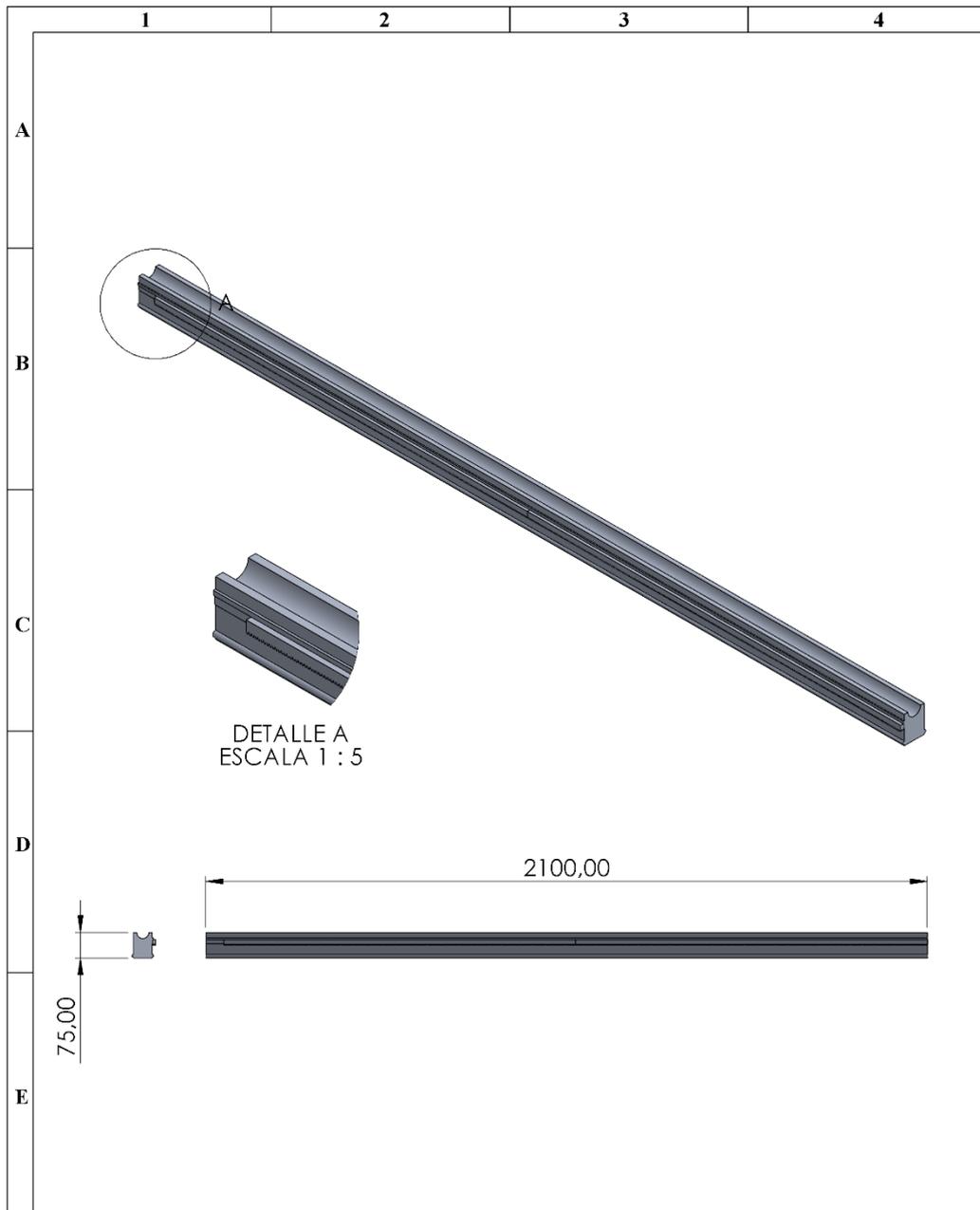
N°. Lámina: 2 de 7		N°. Hojas: 7		Sustitución:		Codificación: ESPOCII-FM-CII-002-20240309		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL							
Email: henry.quinlin@epoch.edu.ec Teléfonos: 0999944355						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		54,205		±0.5 [mm]		1:1			
Proyectó		Quinlin Henry				2024-03-09		SOPORTE DE ROBOT CARTESIANO Materiales: Tubo cuadrado de 50 x 2 mm en Acero Negro A36							
Dibujó		Quinlin Henry				2024-03-09									
Revisó		Ing. Garcia Eduardo				2024-03-09									
Aprobó		Ing. Garcia Eduardo				2024-03-09		Nombre de archivo: SOPORTE DE ROBOT CARTESIANO.sldprt		  					

ANEXO C: PLANOS DEL RIEL GUÍA LONGITUDINAL



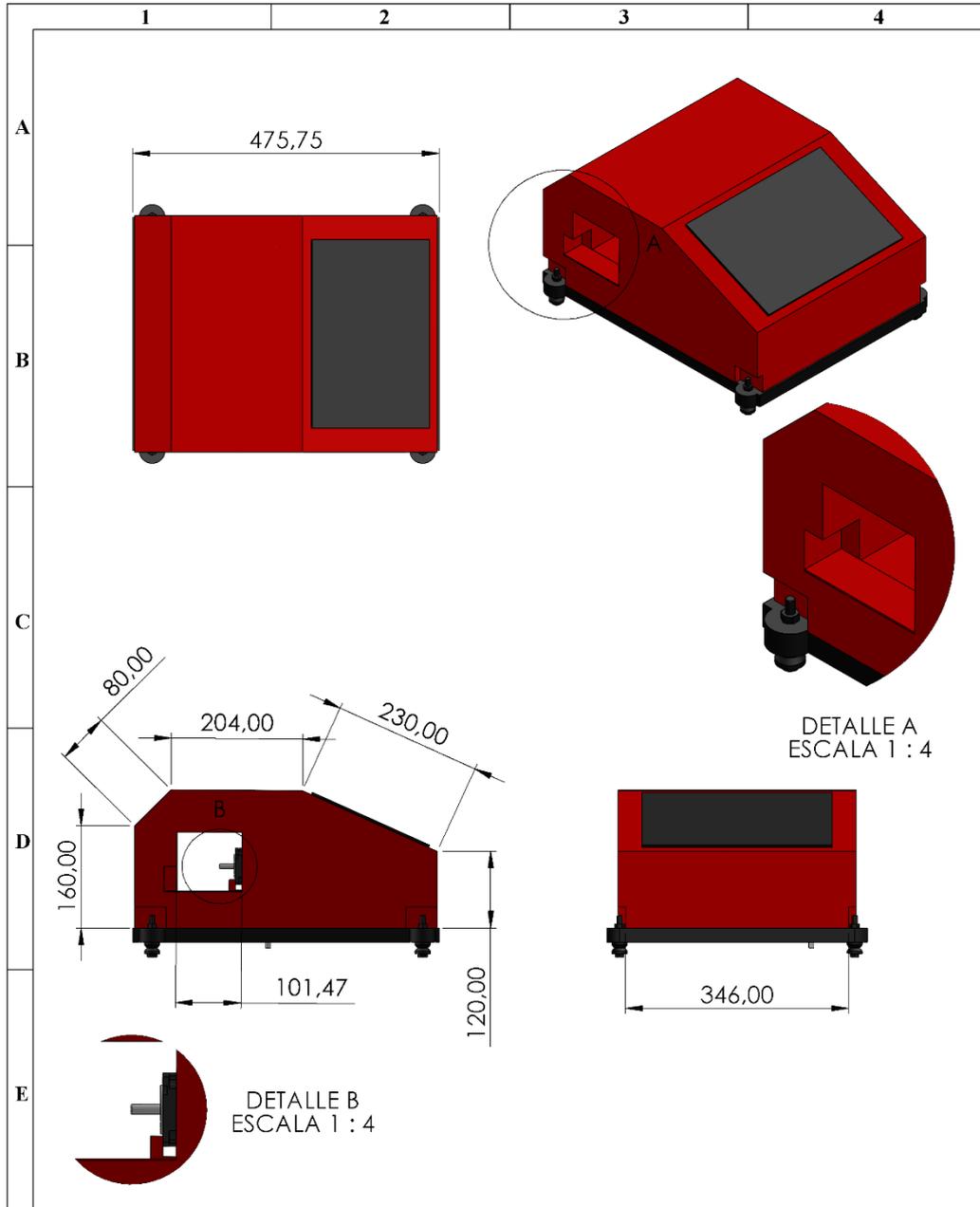
N°. Lámina: 3 de 7		N°. Hojas: 7		Sustitución:		Codificación: ESPOCII-FM-CII-003-20240309		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL				
Email: henry.quinlin@epoch.edu.ec Teléfonos: 0999944355						RIEL GUIA LONGITUDINAL		Peso [Kg]		Tolerancia	Escala	Registro
Datos		Nombre	Firma	Fecha	53,5			±0.5 [mm]	1:1			
Proyectó	Quinlin Henry			2024-03-09	Materiales: Tubo rectangular de 79 x 44 mm en aluminio							
Dibujó	Quinlin Henry			2024-03-09								
Revisó	Ing. Garcia Eduardo			2024-03-09	Nombre de archivo: RIEL GUIA LONGITUDINAL.sldprt							
Aprobó	Ing. Garcia Eduardo			2024-03-09								

ANEXO D: PLANOS DEL RIEL GUÍA TRANSVERSAL



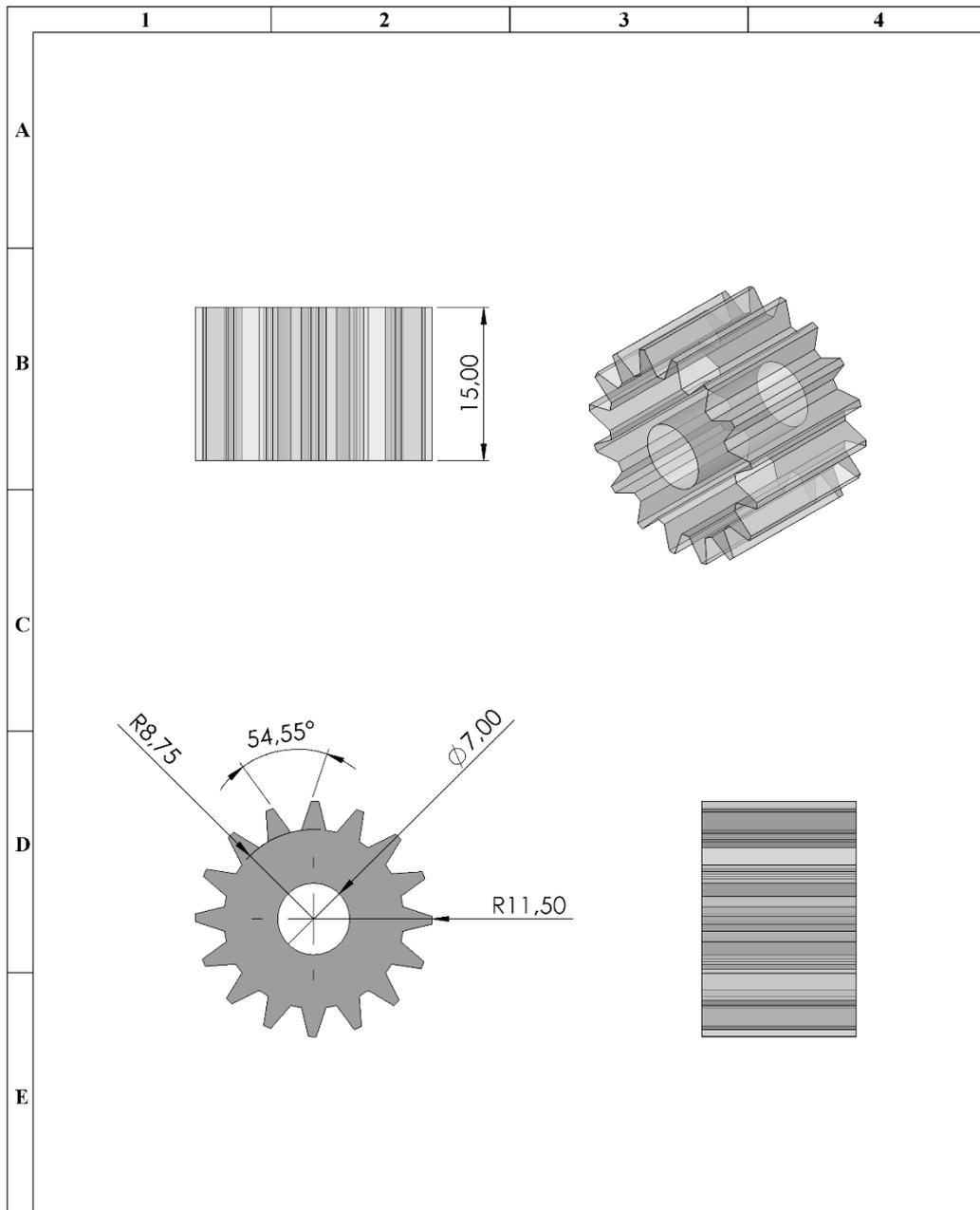
N°. Lámina: 4 de 7		N°. Hojas: 7		Sustitución:		Codificación: ESPOCH-FM-CII-004-20240309		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL			
Email: henry.quinlin@epoch.edu.ec Teléfonos: 0999944355						Denominación: RIEL GUÍA TRANSVERSAL					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: Tubo rectangular de 79 x 44 mm en aluminio Nombre de archivo: RIEL.GUÍA.TRANSVERSAL.stdprt				10	±0.5 [mm]	1:1	
Proyectó	Quinlin Henry		2024-03-09								
Dibujó	Quinlin Henry		2024-03-09								
Revisó	Ing. Garcia Eduardo		2024-03-09								
Aprobó	Ing. Garcia Eduardo		2024-03-09								

ANEXO E: PLANOS DEL CUERPO PRINCIPAL DEL ROBOT CARTESIANO



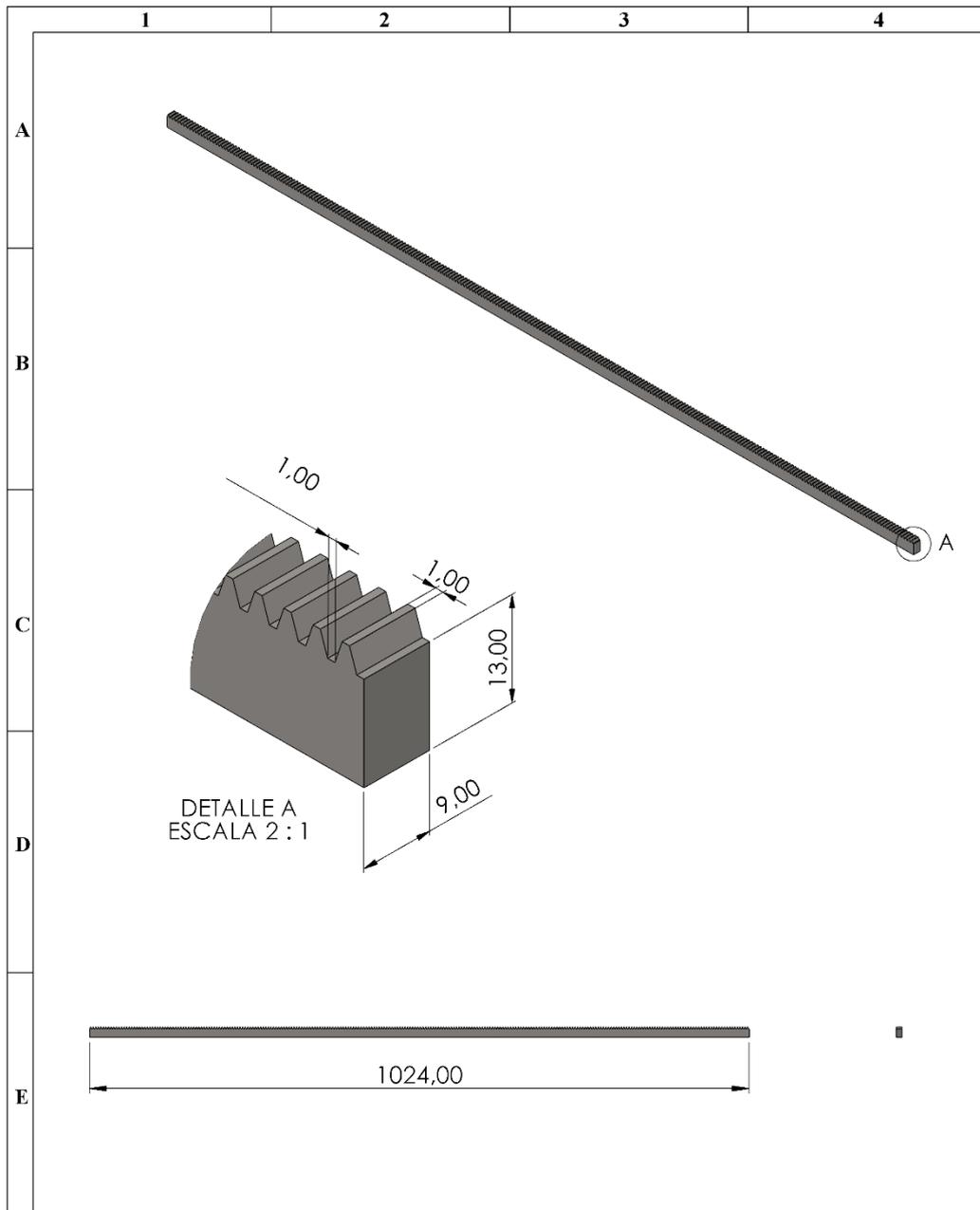
N°. Lámina: 5 de 7		N°. Hojas: 7		Sustitución:		Codificación: ESPOCII-FM-CII-005-20240309		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL											
Email: henry.quinlin@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0999944355						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		ROBOT CARTESIANO				14,5		±0.3 [mm]		1:1			
Proyectó		Quinlin Henry				2024-03-09						Materiales: Acero Negro A36							
Dibujó		Quinlin Henry				2024-03-09		Nombre de archivo: CNC_PRINCIPAL.sldprt											
Revisó		Ing. Garcia Eduardo				2024-03-09													
Aprobó		Ing. Garcia Eduardo				2024-03-09													

ANEXO F: PLANOS DEL ENGRANAJE



N°. Lámina: 6 de 7		N°. Hojas: 7		Sustitución:		Codificación: ESPOCII-FM-CII-006-20240309		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL			
Email: henry.quinlin@epoch.edu.ec Teléfonos: 0999944355						Denominación: ENGRANAJE					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: Acero Negro A36 Nombre de archivo: ENGRANAJE.sldprt				0.005	±0.1 [mm]	1:1	
Proyectó	Quinlin Henry		2024-03-09								
Dibujó	Quinlin Henry		2024-03-09								
Revisó	Ing. Garcia Eduardo		2024-03-09								
Aprobó	Ing. Garcia Eduardo		2024-03-09								

ANEXO G: PLANOS DE LA CREMALLERA

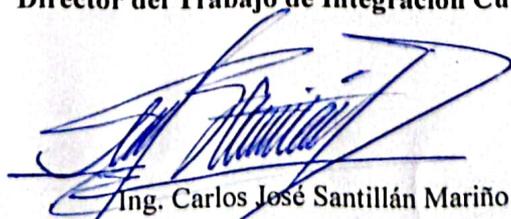


N°. Lámina: 7 de 7		N°. Hojas: 7		Sustitución:		Codificación: ESPOCH-FM-CII-007-20240309		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL			
Email: henry.quinlin@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0999944355						Denominación: CREMALLERA					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: Acero Negro A36 Nombre de archivo: CREMALLERA.sldprt				1	±0,1 [mm]	1:1	
Proyectó	Quinlin Henry		2024-03-09								
Dibujó	Quinlin Henry		2024-03-09								
Revisó	Ing. Garcia Eduardo		2024-03-09								
Aprobó	Ing. Garcia Eduardo		2024-03-09								



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 04/ 07/ 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: HENRY MICHAEL QUINLLIN TIXE
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: MECÁNICA
Carrera: INGENIERÍA INDUSTRIAL
Título a optar: INGENIERO INDUSTRIAL
 Ing. Eduardo Francisco García Cabezas Director del Trabajo de Integración Curricular  Ing. Carlos José Santillán Mariño Asesor del Trabajo de Integración Curricular