UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TEMA:

"DESARROLLO DE UN POSICIONADOR DE GIRO PARA TANQUES ATMOSFÉRICOS DE HASTA 300 KG, CON AJUSTE DE VELOCIDAD PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE SOLDADURA."

Trabajo de grado previo a la obtención de título de Ingeniera en Mecatrónica

Línea de investigación: Prototipos industriales e Ingeniería mecánica.

Autor:

Dylan Sebastián Ortega Llanos

Director:

MsC. Fernando Vinicio Valencia Aguirre

Asesor:

MsC. Víctor Alfonso Erazo Arteaga

Ibarra-Ecuador 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ortega Llanos Dylan Sebastián

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Desarrollo de un posicionador de giro para tanques atmosféricos de hasta 300 kg, con ajuste de velocidad para optimizar el proceso de soldadura.
AUTOR (ES):	Dylan Sebastián Ortega Llanos
FECHA: DD/MM/AAAA	04/09/2026
PROGRAMA:	■ GRADO ☐ POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	MsC. Fernando Vinicio Valencia Aguirre MsC. Víctor Alfonso Erazo Arteaga

CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 4 días del mes de septiembre del 2026

EL AUTOR:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
DYLAN SEBASTIAN ORTEGA LLANOS

(Firma)……
Nombre: Dylan Sebastián Ortega Llanos
Cl: 1004451744

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 4 de septiembre de 2026

MsC. Fernando Vinicio Valencia Aguirre
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
FERNANDO VINICIO VALENCIA AGUIRRE

(f)…….

MsC. Fernando Vinicio Valencia Aguirre
C.C.: 1003188669

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular "DESARROLLO DE UN POSICIONADOR DE GIRO PARA TANQUES ATMOSFÉRICOS DE HASTA 300 KG, CON AJUSTE DE VELOCIDAD PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE SOLDADURA." Elaborado por DYLAN SEBASTIÁN ORTEGA LLANOS previo a la obtención del título de INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
FERNANDO VINICIO VALENCIA AGUIRRE

(f)…….

MsC. Fernando Vinicio Valencia Aguirre
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
C.C.: 1003188669

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
VICTOR ALFONSO ERAZO ARTEAGA

(f)…….

MsC. Víctor Alfonso Erazo Arteaga
ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
C.C.: 1719188029

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres y mi familia, por darme fortaleza, apoyo y sabiduría durante todo el proceso de formación académica.

A Sheyla Flores, por su apoyo incondicional, por su cariño y por acompañarme durante esta etapa de mi vida. Su esfuerzo, confianza y apoyo han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

A las personas que creyeron en mí y me motivaron a continuar aun en los momentos de dificultad. Este logro representa también el apoyo, la paciencia y el respaldo que recibí durante el desarrollo de mi carrera.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica del Norte y a la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica por brindarme los conocimientos y herramientas necesarios para mi formación profesional.

Expreso mi agradecimiento al Ing. Fernando Vinicio Valencia Aguirre, director de este trabajo de grado, por su orientación, tiempo y apoyo durante el desarrollo del proyecto. De igual manera, agradezco al Ing. Víctor Alfonso Erazo Arteaga, cotutor, por sus observaciones y aportes técnicos.

A mis docentes, compañeros y personas que colaboraron directa o indirectamente en la construcción y validación del prototipo, gracias por compartir su experiencia y por contribuir al cumplimiento de los objetivos planteados.

Finalmente, agradezco a mi familia por su comprensión, paciencia y motivación constante. Su apoyo fue esencial para culminar este trabajo.

RESUMEN

El presente trabajo de grado tuvo como objetivo desarrollar un posicionador de giro para tanques atmosféricos de hasta 300 kg, con ajuste de velocidad, orientado a mejorar la estabilidad del proceso de soldadura y reducir la dependencia del movimiento manual del operario. La necesidad del sistema surge de las dificultades que se presentan al soldar recipientes cilíndricos, donde la uniformidad del cordón depende en gran medida de mantener una velocidad de avance constante y una posición adecuada del tanque.

La metodología empleada fue de tipo aplicada, con enfoque experimental. Se analizaron los requerimientos mecánicos, eléctricos y de control del sistema, considerando la capacidad de carga, el rango dimensional de los tanques, la estabilidad estructural y la facilidad de operación. El diseño incorporó una estructura fabricada en acero ASTM A36, módulos de apoyo ajustables, un módulo motriz con ruedas de contacto, transmisión por banda y polea, motorreductor, variador de frecuencia, pedal de activación, selector de sentido de giro y botón de parada de emergencia

La validación del prototipo se realizó mediante pruebas funcionales sin carga y con carga progresiva. Los resultados permitieron verificar la estabilidad del conjunto, la respuesta del sistema de control y la capacidad del equipo para mantener el giro del tanque dentro del rango de trabajo establecido. Además, el posicionador facilitó la operación durante la soldadura al reducir la manipulación directa del recipiente y permitir un avance más regular.

Palabras clave: Posicionador de giro, tanques atmosféricos, soldadura, control de velocidad, motorreductor, ergonomía.

ABSTRACT

This degree project aimed to develop a rotary positioner for atmospheric tanks of up to 300 kg with adjustable speed, intended to improve welding process stability and reduce the operator's dependence on manual tank movement. The need for this system arises from the difficulties involved in welding cylindrical vessels, where weld bead uniformity depends largely on maintaining a constant travel speed and an adequate tank position.

The methodology was applied and experimental. The mechanical, electrical, and control requirements of the system were analyzed, considering load capacity, tank dimensional range, structural stability, and ease of operation. The design included a structure made of ASTM A36 steel, adjustable support modules, a drive module with contact wheels, belt and pulley transmission, a gear motor, a frequency inverter, an activation pedal, a rotation direction selector, and an emergency stop button.

The prototype was validated through functional tests without load and with progressive load. The results made it possible to verify the stability of the assembly, the response of the control system, and the ability of the equipment to maintain tank rotation within the established operating range. In addition, the positioner facilitated welding operation by reducing direct handling of the vessel and allowing a more regular travel movement.

Keywords: Rotary positioner, atmospheric tanks, welding, speed control, gear motor, ergonomics.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA ii

CONSTANCIAS ii

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR iii

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR iv

DEDICATORIA v

AGRADECIMIENTO vi

RESUMEN vii

ABSTRACT viii

ÍNDICE DE CONTENIDOS ix

ÍNDICE DE FIGURAS xiii

ÍNDICE DE TABLAS xiv

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN 1

1.1 Planteamiento del problema 1

1.2 Objetivos 2

1.2.1 General 2

1.2.2 Específicos 2

1.3 Alcance y 2

1.4 Justificación 3

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO 4

2.1 Antecedentes 4

2.2 Soldadura 5

2.2.1 Procesos de soldadura 5
2.3 Tipos de soldadura aplicables a tanques atmosféricos 7
2.3.1 Soldadura GTAW-TIG 8
2.3.2 Soldadura MIG 10
2.3.3 Soldadura SMAW 12
2.3.4 Mecanismos aplicados a sistemas de posicionamiento 14
2.4 Sistemas de posicionamiento de giro horizontal 14
2.4.1 Tipos de sistemas 15
2.4.2 Características principales 15
2.5 Soldadura horizontal para tubería y tanques 16
2.5.1 Técnicas utilizadas: 16
2.5.2 Desafíos específicos 17
2.6 Parámetros ergonómicos para el operario 18
2.6.1 Factores a considerar: 18
2.6.2 Beneficios ergonómicos 19
2.7 Componentes y materiales en el mercado nacional 19
2.7.1 Análisis de materiales 20
2.7.2 Disponibilidad y costo: 22
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO 23
3.1 Tipo de investigación 24
3.2 Diseño de la Investigación 24
3.2.1 Estructura mecánica 25

3.2.2 Sistema de rotación 26
3.2.3 Sistema de sujeción del tanque 26
3.3 Sistema de alimentación eléctrica 26
3.3.1 Variador de frecuencia 27
3.3.2 Panel de control 27
3.4 Implementación del sistema de control 28
3.4.1 Funcionalidades del control 28
3.5 Fabricación de la estructura 28
3.5.1 Mecanizado de piezas móviles 29
3.5.2 Ensamblaje del prototipo 29
3.5.3 Validación y pruebas 29
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS 31
4.1. Requerimientos de solución del sistema. 31
4.2 Solución propuesta 32
4.3 Especificaciones del posicionador diseñado 35
4.3.1 Parámetros generales del diseño 35
4.3.2 Características de funcionamiento 35
4.4. Selección de componentes mecánicos 37
4.4.1 Rueda de carga 38
4.4.2 Módulo de apoyo 41
4.4.3 Eje transversal 44
4.4.4 Correa tipo C 49

4.4.5 Poleas y banda 52

4.4.6 Eje conductor 53

4.4.7 Selección de chumaceras 54

4.5 Selección de componentes eléctricos 55

4.5.1 Selección del motorreductor 55

4.5.2 Control y regulación de velocidad 63

4.5.3 Sistema de pedal 63

4.5.4 Selector de tres posiciones 64

4.6 Esquema eléctrico del motor 65

4.7 Conformado del mecanismo 65

4.8 Optimización y ajustes finales 67

4.8.1 Selector de tres posiciones 68

4.9 Pruebas iniciales 69

4.9.1 Validación del sistema de posicionamiento 71

4.9.2 Validación del sistema de posicionamiento 72

CONCLUCIONES 75

RECOMENDACIONES 77

REFERENCIAS 79

ANEXOS 81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Soldadura con TIG (esquema de pistola).....6
Figura 2. 2 proceso de soldadura por arco electro gas (EGW). 7
Figura 2. 3 Esquema del proceso TIG 8
Figura 2. 4 Esquema del proceso de soldadura MIG [11]. 10
Figura 2. 5 Proceso de soldadura SMAW. 12
Figura 3. 1 Flujograma del marco metodológico.....23
Figura 3. 2 Soportes rotatorios de rodillos 24
Figura 3. 3 Esquema estructural del prototipo.....26
Figura 4. 1 Prototipo mecánico, posicionador horizontal.....33
Figura 4. 2 Sistema de soporte módulo de apoyo 34
Figura 4. 3 Sistema de movimiento modulo motriz 34
Figura 4. 4 Rueda maciza Prosource 41
Figura 4. 5 Módulo de apoyo bajo carga (DCL).....42
Figura 4. 6 diagrama de esfuerzo y momento flector.....42
Figura 4. 7 (Análisis estático) módulo de apoyo 44
Figura 4. 8 Eje transversal DCL 45
Figura 4. 9 Diagrama del Momento flector del Eje transversal 46
Figura 4. 10 Análisis de cargas sobre eje transversal 49
Figura 4. 11 Correa tipo C perforada 50
Figura 4. 12 Eje de transmisión de movimiento 54
Figura 4. 13 Diagrama de conexiones motorreductor y controlador 65
Figura 4. 14 Torneado del eje de transmisión de movimiento 66
Figura 4. 15 Caja de control colocada a un lateral del módulo para fácil acceso 66
Figura 4. 16 Prueba de funcionamiento en tanque de 0.7 m.....70
Figura 4. 17 Proceso de soldadura durante la validación.....72
Figura 4. 18 Proceso de soldado mediante posicionador de giro 74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Tabla sobre Consumo de electrodos 6
Tabla 2. 2 Ventajas y desventajas de procesos de soldadura TIG [10]. 9
Tabla 2. 3 Ventajas y desventajas de procesos de soldadura MIG 11
Tabla 2. 4 ventajas y desventajas de procesos de soldadura SMAW [12] 13
Tabla 2. 5 Análisis de materiales 20
Tabla 4. 1 Especificaciones del Sistema de Posicionamiento.....31
Tabla 4. 2 Componentes del Sistema de Posicionamiento 37
Tabla 4. 3 Especificaciones del fabricante: rueda Pros(ource 40
Tabla 4. 4 Separación de módulos y diámetros ajustables 51
Tabla 4. 5 Especificaciones técnicas de la chumacera FY 25 TF [22]. 55
Tabla 4. 6 Comparativa de selección de motor.....60
Tabla 4. 7 Información sobre el motorreductor seleccionado 63
Tabla 4. 8 Especificaciones técnicas del controlador de velocidad 63
Tabla 4. 9 Valores de satisfacción ergonómica de los trabajadores y operarios. 67
Tabla 4. 10 Pruebas iniciales sin carga 69
Tabla 4. 11 Comparación de métodos tradicionales y con posicionador de giro 73

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En la industria metalúrgica dedicada a la fabricación de tanques atmosféricos para el enfriamiento y almacenamiento de leche, existen procedimientos clave que influyen directamente en el rendimiento del proceso y en el acabado final del producto. Entre estos factores destacan la limitada movilidad del tanque, debido a su peso y configuración estructural, y la ausencia de un protocolo definido para controlar el desplazamiento durante la soldadura, lo que dificulta la manipulación y prolonga los tiempos de operación.

El control de velocidad en la soldadura es fundamental para mantener parámetros óptimos y garantizar una unión de calidad. La velocidad de soldadura es una de las variables más importantes en los procesos GTAW-TIG y láser, debido a su influencia directa en la penetración, continuidad y apariencia del cordón. [1].

Una razón por la cual la soldadura requiere control de velocidad es la necesidad de garantizar la calidad e integridad de las uniones soldadas. Un control preciso de la velocidad de avance tiene un impacto significativo en la apariencia y resistencia de la unión. Si la velocidad es demasiado alta, puede generarse una penetración insuficiente o falta de fusión; por el contrario, si la velocidad es demasiado baja, se produce una acumulación excesiva de calor que puede ocasionar distorsiones, porosidad o grietas [2].

La soldadura de tanques atmosféricos puede convertirse en un proceso complejo y riesgoso si no se cuenta con herramientas adecuadas para la manipulación de la pieza. Por ello, se plantea el desarrollo de un posicionador de giro horizontal que permita al operario controlar el desplazamiento del tanque durante el proceso, mejorando la precisión, la respetabilidad y la calidad

de las uniones soldadas. Esta solución contribuye a reducir errores humanos, disminuir pérdidas por retrabajo y optimizar el proceso de fabricación en la industria metalmecánica.

1.2 Objetivos

Permiten identificar los puntos críticos que intervienen en el desarrollo del posicionador y orientan las diferentes etapas de diseño, construcción y validación del sistema.

1.2.1 General

Desarrollar un posicionador de giro horizontal con velocidad regulable para estructuras cilíndricas de hasta 300 kg.

1.2.2 Específicos

- Definir las variables que influyen en el proceso de soldadura GTAW-TIG.
- Diseñar un sistema de posicionamiento de giro que permita controlar la velocidad de avance.
- Desarrollar el sistema de posicionamiento con control de velocidad ajustable.
- Validar la operatividad y eficacia del sistema implementado.

1.3 Alcance

Este prototipo está diseñado específicamente para tanques cilíndricos con un diámetro entre 0,7 m y 1,70 m, y una altura mínima de 0,7 m. Su fabricación se planifica con el propósito de mantener bajos los costos de producción, haciendo uso de herramientas y recursos disponibles en la fábrica.

Se realizará una investigación orientada a la selección de los materiales y componentes del sistema de posicionamiento, tales como ruedas, motorreductor y controlador de velocidad. Además,

se establecerán los límites de velocidad adecuados para que el proceso de soldadura se realice de forma estable y segura.

1.4 Justificación

La propuesta de este proyecto surge como respuesta a un problema tangible y crítico en la industria de la soldadura de tanques atmosféricos. El manejo correcto de la velocidad de soldadura es vital para garantizar la calidad e integridad de las uniones soldadas, y cualquier inconsistencia puede resultar en defectos de penetración, fusión, porosidad y grietas. La implementación del posicionador de giro, diseñado para proporcionar un control meticuloso de la velocidad de rotación de la estructura, contribuirá a mantener los parámetros óptimos de soldadura y así lograr uniones de alta calidad y resistencia.

Al tratarse de un proceso crítico en la industria metalúrgica de tanques atmosféricos, el prototipo está diseñado para mejorar la eficiencia y la seguridad durante la soldadura. Este sistema incrementaría la maniobrabilidad de las estructuras, reduciría los tiempos de producción y mejoraría la ergonomía del trabajador. Además, al ofrecer al operario un mayor control sobre el proceso, se minimizaría el riesgo de lesiones asociadas con la fatiga o la manipulación insegura de objetos pesados.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Investigadores en ingeniería mecánica, metalurgia y soldadura han desarrollado estudios sobre procesos de unión y control de parámetros en aplicaciones industriales. Estos trabajos combinan experimentación práctica, análisis teórico y simulaciones computacionales para optimizar variables de soldadura, mejorar la calidad de las uniones y reducir defectos durante la fabricación. Dichos avances han contribuido al desarrollo de equipos auxiliares, como posicionadores y sistemas de control de movimiento, orientados a mejorar la eficiencia, seguridad y repetitividad en operaciones de soldadura. [3].

El uso de posicionadores de giro mejora la eficiencia productiva en aplicaciones industriales y favorece las condiciones de trabajo del operario. Este tipo de equipo busca mejorar la ergonomía, la seguridad y el desempeño durante la fabricación de tanques atmosféricos [3].

Según Ushiña, implementar un posicionador de giro genera mejoras en la fabricación de productos, optimizando tiempo, costos y calidad. En el caso de los tanques atmosféricos, el diseño y la fabricación deben cumplir exigencias relacionadas con materiales, equipos y condiciones de operación para garantizar una vida útil adecuada [4].

El control del proceso de soldadura en tanques atmosféricos es importante para evitar defectos en la unión y pérdidas de calidad en el material. Por esta razón, los posicionadores de giro resultan relevantes para cumplir procedimientos de soldadura establecidos y mantener condiciones de trabajo repetibles [5].

Actualmente, en el mercado existen distintos tipos de posicionadores de giro, desde sistemas manuales hasta equipos automáticos. Entre ellos se encuentran mecanismos hidráulicos, sistemas accionados por servomotores y dispositivos de giro manual.

En el presente trabajo de titulación se busca desarrollar un posicionador de giro con ajuste de velocidad para tanques atmosféricos de hasta 300 kg.

2.2 Soldadura

En la actualidad, la soldadura constituye un proceso fundamental en diversas actividades de fabricación, construcción y mantenimiento industrial. Su éxito depende de la correcta aplicación de múltiples principios, debido a que involucra una amplia variedad de parámetros de entrada, propiedades físicas de los materiales a unir y el uso adecuado de herramientas específicas para el proceso [6].

Procesos de soldadura

En la actualidad existen varios procedimientos de soldeo; entre los más conocidos se encuentran la soldadura por arco eléctrico y la soldadura por resistencia.

Soldadura por arco eléctrico

La soldadura por arco eléctrico se clasifica según el material de aporte, el mecanismo del equipo y el gas utilizado durante el proceso véase en la Tabla 2.1 En función del electrodo, puede dividirse en soldadura con electrodo consumible y soldadura con electrodo no consumible [7].

Tabla 2. 1 Tabla sobre consumo de electrodos

Consumo de electrodos	Método de soldadura
Tipo de electrodo no consumible	• Soldadura TIG • Soldadura láser
Tipo de electrodo consumible	Soldadura por arco metálico protegido| Soldadura MAG | Soldadura MIG| Soldadura por arco electro gas (EGW)

Tipo de electrodo no consumible

Soldadura TIG (Tungsten Inert Gas): este tipo de soldadura no produce chispas significativas debido al uso de un electrodo de tungsteno no consumible y gas inerte. Es un procedimiento común para unir materiales como acero inoxidable, aluminio y hierro mírese en la Figura 2.1 [8].

Soldadura por láser: la soldadura por láser se realiza mediante un haz de luz de alta potencia que funde el material en la zona designada por la pistola o cabezal de soldadura.

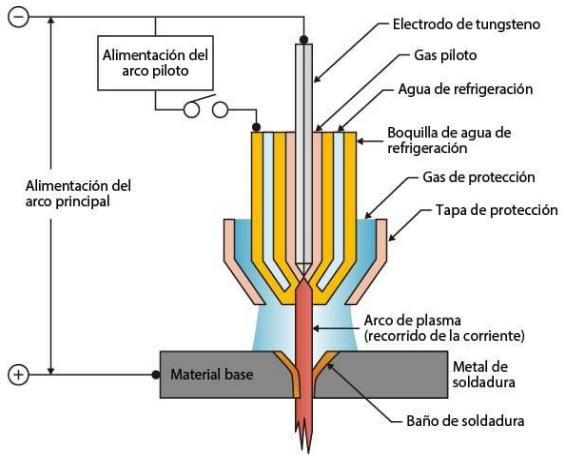


Figura 2. 1 Soldadura con TIG (esquema de pistola).

Tipo de electrodo consumible

Soldadura SMAW (Shielded Metal Arc Welding - soldadura por arco con electrodo revestido): proceso de soldadura en el que se genera un arco entre el electrodo recubierto y el baño de fusión. Es uno de los métodos más utilizados para unir diversos materiales metálicos [8].

Soldadura MIG/MAG (Metal Inert Gas - Metal Active Gas): proceso de soldadura común en la industria, debido a que reduce los problemas asociados con la escoria y permite una protección adecuada del arco. La soldadura MIG utiliza gas inerte, mientras que la soldadura MAG emplea gas activo [8].

Soldadura por arco electro gas EGW (Electrogas Welding): método de soldadura que permite la unión de placas gruesas en posición vertical obsérvese en la Figura 2.2 [8].

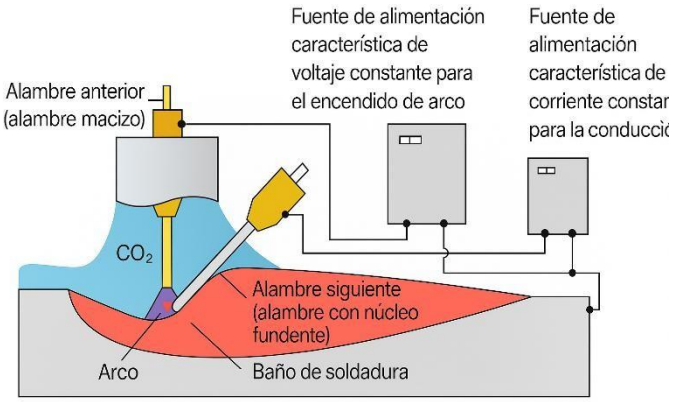


Figura 2. 2 Proceso de soldadura por arco electro gas (EGW).

2.3 Tipos de soldadura aplicables a tanques atmosféricos

Los tanques atmosféricos están diseñados para almacenar líquidos a temperatura ambiente o líquidos refrigerados. Por ello, se requieren métodos de soldadura adecuados para este tipo de estructuras. A continuación, se detallan los procesos recomendados para tanques atmosféricos.

2.3.1 Soldadura GTAW-TIG

La soldadura GTAW-TIG es un proceso de soldadura por arco eléctrico que utiliza un electrodo de tungsteno no consumible para generar la unión. Este método requiere un control preciso de parámetros como corriente, tensión y velocidad de avance, lo que permite obtener uniones soldadas de alta calidad y consta de varias características, mírese en la figura 2.3 [9].

Principios básicos

- **Electrodo de tungsteno:** No se consume durante la soldadura y mantiene el arco eléctrico estable. El tungsteno tiene una alta temperatura de fusión (3414 °C), lo que lo hace ideal para este propósito.
- **Gas inerte:** Protege el arco de la atmósfera circundante, generalmente argón o helio.
- **Fuente de energía:** Suministra corriente continua o alterna, dependiendo del material a soldar [10].

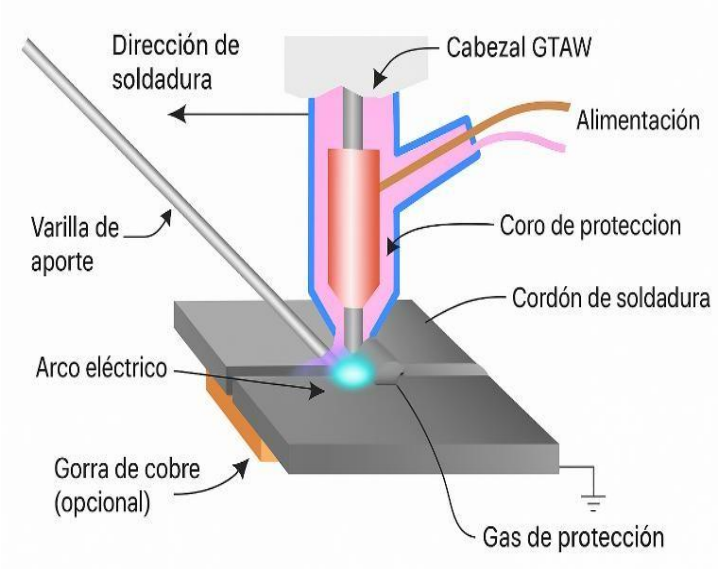


Figura 2. 3 Esquema del proceso TIG

Parámetros críticos

- **Corriente de soldadura:** Determina la profundidad de penetración y la cantidad de calor generada.
- **Tensión de arco:** Afecta la forma del cordón de soldadura.
- **Velocidad de avance:** Influye en la cantidad de calor aplicada y en la calidad de la soldadura como se aprecia en la tabla 2.2 [9] y [10].

Tabla 2. 2 Ventajas y desventajas de procesos de soldadura TIG [10].

Parámetro	Ventajas	Desventajas
Consumo de corriente	Opera en rangos moderados (30–200 A), lo que reduce el calor residual y el consumo eléctrico.	Requiere fuentes de corriente continua estabilizada o alterna de alta frecuencia, encareciendo el equipo inicial.
Facilidad de uso	El aporte de calor y adición de metal se controlan manualmente, permitiendo soldaduras finas.	Demanda habilidad y práctica el soldador debe dominar antorcha y varilla de aporte al mismo tiempo.
Penetración	Permite ajustar con exactitud la profundidad de fusión para espesores de 0,5–8 mm en una sola pasada, evitando distorsión.	Para materiales de más de 6 mm suele ser necesario precalentar o realizar múltiples pasadas, alargando el proceso.
Espesor ideal al soldar	Excelente en chapas finas (0,5–6 mm) y aplicaciones de alta exigencia estética (medical, aeroespacial, automotriz).	Poco productivo en secciones gruesas sin equipos de alta potencia o sistemas complementarios de pretratamiento.
Velocidad de soldadura	Genera cordones muy limpios y sin salpicaduras, minimizando retrabajos posteriores.	Ritmo de avance moderado (100–250 mm/min), no conveniente para producciones de gran volumen.
Costo de consumibles	Varilla de aporte (tungsteno y aleaciones): 15–20 USD / kg; gas argón: 0,5–1,5 USD / m^3.	Gastos permanentes en gas inerte y electrodos de tungsteno, más elevados que en procesos semiautomáticos.

Costo por metro soldado	Aproximadamente 1,5–3 USD / m, competitivo en piezas que exijan alta calidad superficial y mínima postlimpieza.	En mantenimientos puntuales o tirajes cortos, el coste de montaje y gas hace que sea menos rentable que otros métodos.

Nota. Los rangos indicados son referenciales y se emplean para comparar el proceso TIG con las necesidades de avance estable del posicionador.

2.3.2 Soldadura MIG

La soldadura MIG, también conocida como GMAW (Gas Metal Arc Welding), es un proceso que se caracteriza por su continuidad y facilidad de operación como se aprecia en la figura 2.4. A diferencia de la soldadura con electrodo revestido, utiliza material de aporte en forma de alambre continúo suministrado desde un rollo. Este proceso ofrece mayor movilidad durante la ejecución, simplifica el trabajo del operario y aumenta la eficiencia del acabado. [11].

Principios básicos

- **Alambre:** el material de aporte posee características compatibles con el material a soldar y está estandarizado por AWS.
- **Gas de protección:** se requiere un flujo adecuado, generalmente de argón o mezclas de gases según el material.
- Soldadura de arco corto utiliza transferencia de cortocircuito.
- Alambre de soldadura con diámetro seleccionado según espesor, material y parámetros del proceso [11].



Figura 2. 4 Esquema del proceso de soldadura MIG [11].

Es necesario analizar las ventajas y desventajas del proceso para comprender su acabado, desempeño y aplicabilidad, Tabla 2.3.

Tabla 2. 3 *Ventajas y desventajas de procesos de soldadura MIG*

Ventajas y desventajas de la soldadura MIG/MAG		
Parámetro	Ventajas	Desventajas
Consumo de corriente	Opera en un rango amplio: 100 – 250 A, ideal para soldar desde chapas hasta piezas gruesas.	Alto consumo energético: requiere fuentes de poder capaces de suministrar hasta 350 A.
Facilidad de uso	Proceso semiautomático, fácil de aprender. Configuración sencilla con voltaje de 18 – 32 V.	Requiere entrenamiento para ajustar parámetros como voltaje (18–32 V) y alimentación de alambre.
Penetración	Buena penetración en una o dos pasadas: 5 a 10 mm.	Penetración limitada: en espesores >10 mm se requieren múltiples pasadas y preparación del borde.
Espesor ideal al soldar	Eficiente en materiales para 1,0 a 10 mm, ic estructuras medianas.	No recomendado para espesores muy finos (<1 mm) o muy gruesos (>12 mm sin preparación previa).
Velocidad de soldadura	Alta velocidad: 300 –500 mm/min, mejora la productividad.	Alta velocidad puede generar proyecciones si la alimentación de alambre (6–12 m/min) no está bien calibrada.
Costo de consumibles	Alambre: 2 – 4 USD/kg, Gas: 0,5 – 1,5 USD/m³, aceptable en volumen.	Costos continuos: necesita gas protector constante, además de consumo eléctrico elevado.
Costo por metro soldado	Competitivo: 0,5 – 1,2 USD/m. Ideal para trabajos en serie.	En trabajos pequeños o de mantenimiento, no se justifica por el costo de instalación y gas.

2.3.3 Soldadura SMAW

Este método de soldadura es uno de los más antiguos. Inicialmente utilizaba un electrodo de carbón para producir el arco eléctrico; posteriormente, hacia 1907, se desarrolló el método con electrodo recubierto.

Principios básicos:

- Arco eléctrico llega a temperaturas mayores de 5500 °C.
- Puede utilizar corriente alterna o corriente continua, según el electrodo y la aplicación.
- Produce una escoria que recubre el cordón de soldadura y debe retirarse después del proceso.

El esquema general del proceso SMAW se muestra en la Figura 2.5, donde se puede observar la formación del arco eléctrico, la fusión del electrodo y la protección generada por la escoria sobre el cordón de soldadura.

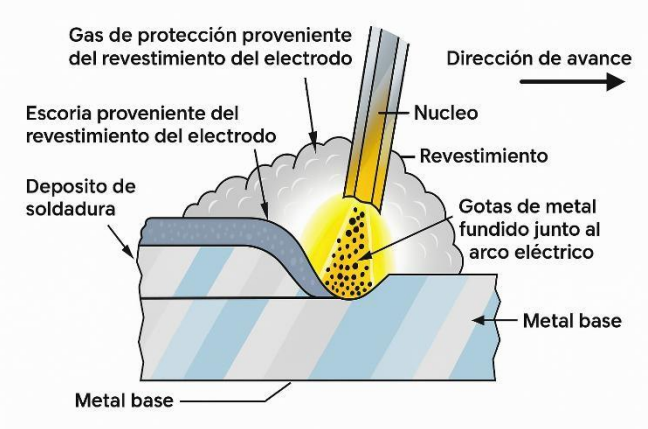


Figura 2. 5 Proceso de soldadura SMAW.

Considerando los métodos de soldadura adecuados para tanques atmosféricos, el uso de un sistema de posicionamiento permite realizar la soldadura de manera más uniforme y controlada.

Estas ventajas y desventajas se resumen en la Tabla 2.4, donde se comparan los principales parámetros técnicos del proceso SMAW, tales como consumo de corriente, voltaje de arco, facilidad de uso, espesor ideal, velocidad de soldadura, diámetro de electrodo, costo de consumibles y portabilidad.

Tabla 2. 4 Ventajas y desventajas de procesos de soldadura SMAW [12]

Ventajas y desventajas de soldadura SMAW

Parámetros técnicos	Ventajas	Desventajas
Consumo de corriente	Funciona en rango amplio: 30 – 250 A, adecuado para variados espesores.	Limitado para espesores >12 mm, donde la productividad baja por múltiples pasadas.
Voltaje de arco	Bajo voltaje de arco: 20 – 40 V, lo que facilita el control del cordón.	Menor estabilidad del arco comparado con MIG/MAG o TIG.
Facilidad de uso	Proceso sencillo y portátil, ideal para trabajos en campo y reparaciones.	Requiere práctica para evitar defectos como poros o inclusiones; formación técnica necesaria.
Espesor ideal al soldar	Eficiente para espesores desde 1,5 hasta 12 mm, con electrodos adecuados.	No eficiente en espesores muy finos (<1.5 mm) o muy gruesos (>12 mm) sin múltiples pasadas.
Velocidad de soldadura	Relativamente baja: 100 – 200 mm/min, menos productiva que MIG/MAG.	Baja velocidad puede incrementar el tiempo total en proyectos grandes.
Diámetro de electrodo	Amplia variedad: 2,5 – 6,4 mm, para distintos espesores y aplicaciones.	Cambiar electrodo requiere pausa para reemplazo y ajustes.

Costo de consumibles	Electrodos económicos: 1 – 3 USD/kg, sin necesidad de gases externos.	Consumo elevado de electrodos en trabajos grandes aumenta costos.
Portabilidad	Alta, no requiere gas ni equipo voluminoso, ideal para campo y reparaciones.	Genera humos y escoria, requiere limpieza postsoldadura y protección del operador.

2.3.4 Mecanismos aplicados a sistemas de posicionamiento

Los mecanismos de posicionamiento cumplen una función crítica según su ubicación dentro de un sistema automatizado, ya que su orientación y precisión influyen directamente en la calidad del proceso. Estos mecanismos deben posicionarse con alta exactitud, alcanzando tolerancias que pueden variar desde ±0.01 mm (10 μm) en aplicaciones de alta precisión, hasta ±1 mm o más en procesos industriales menos exigentes. Para lograr este nivel de control, se emplean diversos instrumentos de análisis de posición como sensores ópticos, encoders lineales y rotativos, sistemas de visión artificial, láseres de alineación y palpadores de coordenadas. Estos sistemas permiten verificar y ajustar la posición de componentes en aplicaciones industriales como soldadura automatizada, ensamblaje robótico y manipulación de piezas, mejorando notablemente la calidad, repetibilidad y velocidad del proceso productivo [13].

2.4 Sistemas de posicionamiento de giro horizontal

Los sistemas de posicionamiento de giro horizontal son dispositivos mecánicos diseñados para rotar piezas cilíndricas, como tanques o tubos, durante procesos de fabricación y ensamblaje, especialmente en operaciones como la soldadura circunferencial. Estos sistemas permiten una rotación controlada, continua o por pasos, lo que garantiza una aplicación uniforme del cordón de soldadura a lo largo de toda la superficie. Su precisión de posicionamiento angular puede alcanzar

tolerancias de hasta ±0,1°, lo cual es crucial para mantener la alineación del cordón en soldaduras críticas. Además, la velocidad de rotación puede ajustarse con exactitud dentro de un rango típico de 0,1 a 10 rpm, lo que permite optimizar la penetración y la calidad del cordón según el tipo de material y espesor. Esta capacidad de control se traduce en una mejora de hasta el 30% en la eficiencia del proceso en comparación con métodos manuales, al reducir errores, retrabajos y tiempos de ciclo [14].

2.4.1 Tipos de sistemas

- Manual: Requiere intervención del operario para girar la pieza.
- Automático: Utiliza motores y controladores para el giro automatizado.
- Semiautomático: combina características de los sistemas manuales y automáticos.

2.4.2 Características principales

Capacidad de carga:

- Baja: 100 – 500 kg
- Media: 500 – 5.000 kg
- Alta: 5.000 – 100.000 kg.

Velocidad de rotación:

- Rango ajustable: 0,1 – 10 rpm
- Control mediante variador de frecuencia (VFD) o sistema CNC.

Estabilidad rotacional:

- Variación de velocidad: ±2 % a ±5 %
- Garantiza rotación uniforme durante la operación.

Precisión angular:

- Posicionamiento: ±0,1° a ±0,5°
- Alta precisión para procesos como soldadura circunferencial.

Repetibilidad:

- Hasta ±0,05° en modelos CNC de alta gama

Sistema de control:

- Opciones: Manual, semiautomático o CNC
- CNC recomendado para procesos automatizados de alta precisión.

Sistema de fijación

- Mandriles auto-centrantes o platos con guías de alineación
- Mantienen la concentricidad y estabilidad del componente [15].

2.5 Soldadura horizontal para tubería y tanques

La soldadura horizontal se refiere a la posición de soldadura donde el eje de la pieza cilíndrica está paralelo al suelo. Este tipo de soldadura es común en la fabricación de tuberías y tanques, permitiendo un control más fácil y una mejor calidad de la soldadura [16].

2.5.1 Técnicas utilizadas:

Rotación continua la pieza se gira de manera continua mientras se realiza la soldadura, lo cual es ideal para obtener cordones de soldadura uniformes y consistentes. Este enfoque es particularmente útil para tanques y tuberías que requieren soldaduras sin interrupciones. La rotación continua permite un control preciso del calor y la velocidad de soldadura, lo que resulta en uniones de alta calidad [17].

Rotación intermitente, la pieza se gira en pasos o segmentos, lo que permite realizar inspecciones periódicas durante el proceso de soldadura. Esta técnica es útil cuando se necesita verificar y ajustar la soldadura en varias etapas, especialmente en casos donde la precisión es crítica. La rotación intermitente también puede ser beneficiosa para piezas complejas o de gran tamaño que requieren una atención especial en ciertos puntos [18].

2.5.2 Desafíos específicos

Control del calor aportado

- Es vital regular el calor (input térmico) en un rango óptimo (0,5 – 2,5 kJ/mm) para evitar deformaciones, fisuras o sobrecalentamiento del material.

Accesibilidad limitada

- Dificultad para acceder a zonas internas de tanques o soldaduras de fondo en tuberías.
- Requiere equipos ergonómicos, antorchas de cuello curvo o sistemas automáticos.

Posición forzada del operador:

- El soldador trabaja en posturas incómodas o limitadas, lo que incrementa la fatiga y disminuye la precisión del cordón.
- Se recomienda el uso de posicionadores o mesas rotativas.

Riesgo de inclusión de escoria:

- En procesos como SMAW o FCAW, la escoria tiende a acumularse en la zona inferior si no se controla el ángulo de avance y la limpieza.

Necesidad de monitoreo térmico:

- Es indispensable el uso de termopares, cámaras infrarrojas o pirómetros para asegurar que la temperatura se mantenga dentro del rango óptimo. [19].

2.6 Parámetros ergonómicos para el operario

En operaciones de soldadura horizontal de tanques y tuberías, los parámetros ergonómicos son fundamentales para garantizar la seguridad, eficiencia y precisión del operador. La altura de trabajo debe mantenerse dentro del rango de 850 mm a 1200 mm desde el nivel del piso hasta la superficie de soldadura, permitiendo una postura neutra del torso y evitando flexiones prolongadas. Los sistemas de soporte o bancadas deben ser regulables en altura e inclinación, especialmente cuando se manejan estructuras cilíndricas. En aplicaciones de mayor capacidad, se recomienda el uso de posicionadores motorizados con rotación asistida, que permitan ajustes sin esfuerzo físico excesivo [20].

Además, deben incluirse apoyos ergonómicos para brazos y herramientas, con mecanismos de deslizamiento y bloqueo, que minimicen la fatiga durante sesiones prolongadas. La incorporación de sillas ajustables, descansabrazos, iluminación localizada y controles a nivel de cadera o pie también contribuye a mejorar la comodidad del operador y la calidad del trabajo en tareas repetitivas o de alta precisión. [21].

2.6.1 Factores a considerar:

Altura de trabajo ajustable:

- Rango óptimo: 850 mm a 1200 mm desde el suelo.
- Permite mantener una postura natural y evitar flexión excesiva de espalda y cuello.

Postura del operario

- Se debe facilitar una postura ergonómica y sostenida durante largos periodos.
- Evitar torsiones, inclinaciones y posturas forzadas mediante posicionadores y soportes.

Adaptabilidad a diferentes tallas de operario

- El equipo debe permitir ajustes para operarios de distintas estaturas (aprox. 1,50 m – 1,90 m), asegurando comodidad y control.

Iluminación adecuada

- Iluminación focal regulable (500–1000 lux) en el área de soldadura para reducir la fatiga visual y mejorar la precisión. [22].

2.6.2 Beneficios ergonómicos

- Aumento de la Precisión: Operarios menos fatigados son más precisos en sus tareas, lo que resulta en una mayor calidad de soldadura.
- Mejora de la Seguridad: Menos riesgos de accidentes y lesiones al reducir posturas forzadas y movimientos repetitivos [23].

2.7 Componentes y materiales en el mercado nacional

Para la fabricación del posicionador de giro, es crucial seleccionar componentes y materiales disponibles en el mercado nacional que cumplan con los requisitos de resistencia, durabilidad y costo. Entre los que se consideró:

Acero al carbono

- ASTM A36 (acero estructural común)
- ASTM A572 (acero de alta resistencia y baja aleación)

- ASTM A516 (acero para calderas y recipientes a presión) [24].

Acero inoxidable:

- AISI 304 (resistente a la corrosión y buena soldabilidad)
- AISI 316 (mayor resistencia química y a ambientes corrosivos) [25].

Aceros especiales y aleaciones

- Acero inoxidable dúplex (alta resistencia y anticorrosión) [26].

Aluminio

- Aleación 6061 (buena resistencia y ligera para partes móviles) [27].

2.7.1 Análisis de materiales

Con el fin de comparar estos materiales de forma técnica, en la Tabla 2.5 se presenta el análisis de sus principales propiedades mecánicas, costo, manufacturabilidad y soldabilidad. Esta comparación permite identificar el material más conveniente para la fabricación del posicionador de giro, considerando tanto el comportamiento estructural como la facilidad de construcción y disponibilidad del material [28].

Tabla 2. 5 Análisis de materiales

Análisis de materiales				
Material	Propiedades mecánicas	Costo	Manufacturabilidad	Soldabilidad
Acero al carbono ASTM A36	Resistencia a la tracción: 400–550 MPa Ductilidad alta	Bajo	Fácil de mecanizar y conformar	Excelente soldabilidad con métodos comunes (SMAW, MIG)

Acero al carbono ASTM A572	Resistencia superior (450–620 MPa), alta resistencia mecánica.	Medio	Requiere cuidados en tratamiento térmico buena mecanización	Buena, pero cuidado con distorsión por alta resistencia
Acero al carbono ASTM A516	Resistencia moderada, alta tenacidad y resistencia a impacto	Medio	Manufacturabilidad media; requiere control dimensional y cuidado en el conformado.	Buena, especial atención a evitar grietas.
Acero inoxidable AISI 304	Resistencia a la tracción: 515–720 MPa Alta resistencia a corrosión	Alto	Mecanizable con herramientas adecuadas menos dúctil	Soldable, pero requiere protección contra oxidación
Acero inoxidable AISI 316	Similar a 304, mayor resistencia química y a corrosión	Muy alto	Más difícil de mecanizar	Soldable con técnicas específicas y gases inertes
Acero inoxidable dúplex	Alta resistencia mecánica (600–900 MPa) y excelente corrosión	Muy alto	Difícil mecanizado requiere maquinaria especializada	Soldabilidad compleja, requiere técnica avanzada
Aluminio 6061	Resistencia 240–310 MPa, muy ligero	Medio-Alto	Fácil mecanizado, buena conformabilidad	Soldable (TIG, MIG) pero con precauciones por oxidación

2.7.2 Disponibilidad y costo:

Proveedores locales: identificar proveedores nacionales que ofrezcan materiales y componentes de calidad a precios competitivos. Esto reduce costos de transporte, asegura soporte local y mejora los tiempos de entrega.

Comparación de precios: evaluar diferentes opciones de materiales y componentes para optimizar el costo total del proyecto. La comparación de precios y la negociación con proveedores pueden generar ahorros significativos [29].

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación emplea una metodología aplicada con enfoque experimental, orientada al diseño y desarrollo de un posicionador de giro para tanques atmosféricos de hasta 300 kg. El objetivo es optimizar el proceso de soldadura mediante un sistema que permita controlar con precisión la velocidad de rotación, mejorando la calidad del cordón, reduciendo tiempos operativos y minimizando el esfuerzo físico del operario. La metodología se estructura en etapas que incluyen el análisis de requerimientos técnicos, el diseño mecánico y eléctrico del sistema, la selección de materiales y componentes, la fabricación del prototipo y la validación del desempeño bajo condiciones reales de trabajo.

Como se observa en la Figura 3.1, la metodología inicia con la definición de los requerimientos del sistema y continúa con el diseño, selección de materiales, construcción y pruebas del prototipo. Esta estructura permite verificar progresivamente el funcionamiento del posicionador de giro y realizar ajustes técnicos antes de su validación final.

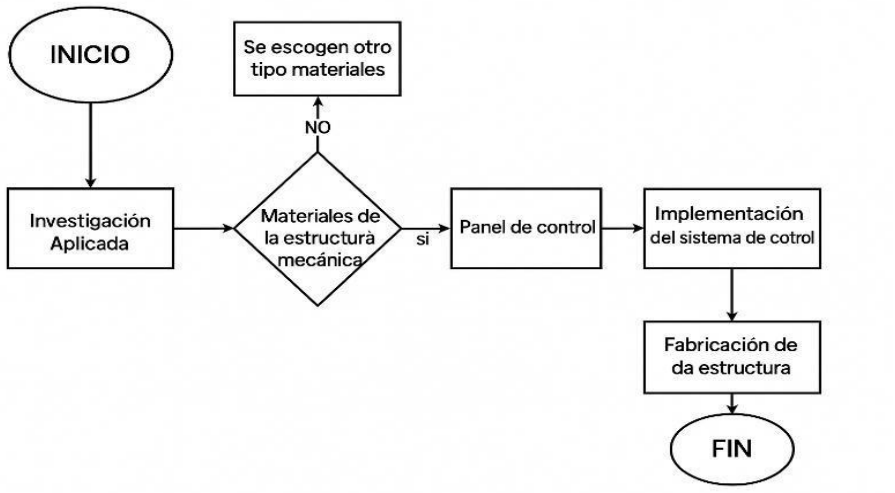


Figura 3. 1 Flujograma del marco metodológico

3.1 Tipo de investigación

En esta sección se describen los métodos y técnicas de investigación aplicados al desarrollo del sistema de posicionamiento, relacionándolos con los objetivos planteados.

3.2 Diseño de la Investigación

El presente trabajo se fundamenta en un enfoque de investigación aplicada o tecnológica, orientado a la solución de una necesidad operativa en el proceso de soldadura de tanques atmosféricos. Este tipo de investigación permite desarrollar una solución funcional, evaluarla en condiciones reales y comprobar su aporte a la mejora del proceso productivo.

El desarrollo del prototipo del posicionador de giro para tanques atmosféricos se llevó a cabo considerando sistemas comerciales disponibles en el mercado como observamos en la Figura 3.2, como soportes rotatorios para rodillos de soldadura, pero adaptados a las necesidades específicas del proceso de soldadura de tanques industriales. Este sistema está diseñado para soportar tanques cilíndricos de hasta 300 kg, permitiendo controlar la velocidad de rotación de forma precisa para optimizar el proceso de soldadura GTAW-TIG.



Figura 3.2 Soportes rotatorios de rodillos

En este capítulo se detalla la metodología empleada en el diseño mecánico, eléctrico y de control, además de la implementación del prototipo. Cada una de las partes es seleccionada y

evaluada según su funcionalidad y desempeño en el sistema, garantizando la operación eficiente del posicionador.

3.2.1 Estructura mecánica

La estructura mecánica se definió a partir de la carga máxima de diseño de 300 kg y del rango de diámetros previsto para los tanques atmosféricos. Se seleccionó acero estructural ASTM A36 por su disponibilidad local, facilidad de corte y soldadura, y porque sus propiedades mecánicas cubren las solicitaciones calculadas en el capítulo 4.

El diseño de la base se organizó en módulos de apoyo regulables para facilitar el centrado del tanque antes del giro. Esta regulación es necesaria porque el punto de contacto entre el recipiente y las ruedas cambia con el diámetro del tanque. Por esta razón, los puntos de fijación se distribuyeron de forma escalonada, de modo que el ajuste pueda repetirse durante el montaje sin depender solo de correcciones manuales.

Los refuerzos se ubicaron en las zonas de unión y apoyo donde se espera mayor concentración de carga. Con esta disposición se busca mantener la rigidez del conjunto y limitar deformaciones visibles durante el arranque y la rotación. La verificación estructural se complementa con los cálculos de esfuerzo y factor de seguridad presentados en el capítulo de implementación.

Para complementar la descripción del diseño, en la Figura 3.3 se presenta el esquema general del prototipo. En ella se identifican la base, los soportes ajustables y los refuerzos que conforman la estructura principal del posicionador de giro.



Figura 3.3 Esquema estructural del prototipo

3.2.2 Sistema de rotación

El sistema de rotación permite controlar el movimiento del tanque durante la soldadura. Para el prototipo se utilizó un motorreductor de corriente alterna de 90 W acoplado a una transmisión por ruedas motrices. Esta configuración permite apoyar el tanque sobre su superficie exterior y evita fijaciones internas que puedan dificultar el montaje.

Las ruedas recubiertas de poliuretano se seleccionaron por su contacto con el tanque y por la reducción del deslizamiento durante el inicio del movimiento. ¡La velocidad de giro se relaciona con el diámetro del recipiente y con la velocidad tangencial requerida para el cordón; por ello, el sistema trabaja a bajas revoluciones y con regulación continua.

3.2.3 Sistema de sujeción del tanque

El sistema de sujeción limita el desplazamiento lateral del tanque durante la rotación. Se emplearon pivotes y apoyos ajustables que ayudan a conservar la alineación una vez que el recipiente se encuentra centrado sobre los módulos. El ajuste se realiza de acuerdo con el diámetro del tanque y con la zona de contacto disponible sobre las ruedas.

3.3 Sistema de alimentación eléctrica

El posicionador se alimenta desde una red de 220 V y cuenta con elementos de protección para reducir riesgos ante sobrecargas o fallas de conexión. La protección eléctrica se consideró indispensable porque el equipo combina accionamiento motriz, control de velocidad y operación manual por parte del soldador.

Se incorporaron interruptores y protecciones acordes con la potencia del motorreductor y con el circuito de mando. Estos elementos permiten aislar el sistema durante ajustes, mantenimiento o condiciones de operación inseguras.

3.3.1 Variador de frecuencia

El control de velocidad del motorreductor se realiza mediante un variador de frecuencia. En el prototipo, este dispositivo permite adaptar la velocidad de giro al diámetro del tanque y a la velocidad de avance requerida por el proceso de soldadura.

La selección del variador consideró la potencia del motorreductor, la necesidad de trabajar a bajas revoluciones y la facilidad de ajuste desde el panel de control. El rango de operación se verifico durante las pruebas funcionales, observando que el giro pudiera mantenerse estable sin cambios bruscos en el arranque.

3.3.2 Panel de control

El panel de control se ubicó en una zona accesible para el operario y reúne los mandos principales del posicionador. El potenciómetro permite modificar la velocidad de giro, el selector de tres posiciones define el modo de activación y el selector de giro permite cambiar el sentido de rotación. También se incorporó un botón de parada de emergencia para detener el movimiento ante una condición insegura.

En el modo manual, el giro se activa mediante pedal, lo que permite coordinar el movimiento del tanque con el inicio de la soldadura. En el modo automático, el sistema mantiene la rotación sin presión continua del pedal. La posición desactivada deja el equipo detenido durante ajustes, preparación o verificación del montaje.

3.4 Implementación del sistema de control

El control del prototipo se implementó mediante el variador de frecuencia y los mandos instalados en la caja de control. El ajuste de velocidad es manual y continuo, por lo que el operario puede modificar la rotación del tanque de acuerdo con la condición de soldadura observada.

Esta versión del equipo no incorpora retroalimentación cerrada de velocidad. Por tanto, la comprobación del funcionamiento se realizó mediante pruebas operativas y mediciones externas durante la validación. Esta aclaración delimita el alcance del sistema de control y evita atribuir al prototipo funciones de monitoreo que no forman parte de su implementación.

3.4.1 Funcionalidades del control

Las funciones implementadas se concentran en el arranque, parada, selección de sentido de giro y regulación manual de velocidad. Estos mandos permiten que el operario ajuste el avance del tanque sin manipular directamente el recipiente durante el proceso.

Durante la validación se revisó la respuesta del potenciómetro, el funcionamiento del pedal y la parada de emergencia. La velocidad de rotación se ajustó de forma progresiva para comprobar que el tanque mantuviera contacto con las ruedas y que el movimiento no presentara bloqueos visibles.

3.5 Fabricación de la estructura

La estructura del posicionador fue fabricada utilizando técnicas de corte CNC para garantizar precisión dimensional en las piezas y uniones. La soldadura MIG/MAG se utilizó para ensamblar las piezas de acero, asegurando una alta resistencia mecánica en los puntos críticos de la estructura.

3.5.1 Mecanizado de piezas móviles

Los componentes móviles, como los ejes de las ruedas motrices y los sistemas de sujeción, fueron mecanizados con precisión utilizando tornos y fresadoras. Esto aseguró un ajuste correcto y minimizó las vibraciones durante la rotación del tanque.

3.5.2 Ensamblaje del prototipo

El ensamblaje del prototipo incluyó la integración de la estructura mecánica con el sistema eléctrico y el programa de control. Se verificó que todos los componentes estuvieran correctamente alineados y que la rotación del tanque fuera suave y constante a diferentes velocidades.

3.5.3 Validación y pruebas

Una vez completada la fase de ensamblaje del prototipo, se procede con la validación operativa del sistema, siguiendo un enfoque experimental orientado a confirmar su funcionalidad bajo condiciones reales de uso. Esta etapa contempla pruebas técnicas y observacionales para verificar el comportamiento del posicionador de giro frente a diferentes escenarios de carga y operación.

Se consideran los siguientes aspectos clave durante la validación:

Capacidad de carga**:** Se prueba el sistema con tanques de diferentes pesos, desde valores mínimos hasta los 300 kg especificados en el diseño, para comprobar la resistencia estructural y la estabilidad de los módulos de apoyo.

Funcionamiento del mecanismo de giro: Se evalúa la suavidad y continuidad del movimiento rotativo, así como la capacidad del sistema para mantener una velocidad constante sin presentar deslizamientos o vibraciones anómalas.

Eficiencia del control electrónico: Se analiza el rendimiento del variador de frecuencia, el comportamiento del motorreductor y la respuesta del panel de control ante los cambios de velocidad y dirección de giro.

Pruebas de uso del panel: Se revisa la funcionalidad de los selectores de modo de activación (pedal/automático) y de dirección (derecha/izquierda), verificando su precisión y la seguridad en la activación del sistema.

Observaciones ergonómicas: Se considera el esfuerzo físico requerido por el operario, la accesibilidad de los controles y la mejora en la postura de trabajo durante la soldadura.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se detalla el diseño mecánico y eléctrico, abordando la selección de componentes basada en cálculos de esfuerzos, capacidad de carga y control de velocidad, así como las pruebas realizadas para evaluar su funcionamiento y desempeño.

4.1 Requerimientos de solución del sistema.

Para establecer las especificaciones del sistema, se tomaron como referencia soluciones comerciales similares y se adaptaron a las condiciones del proyecto.

Entre los requerimientos principales, se estableció un sistema capaz de soportar una carga máxima de 300 kg, asegurando estabilidad y precisión en el movimiento. Además, se determinó la necesidad de un mecanismo de rotación con control de velocidad variable para ajustar el desplazamiento según las condiciones del proceso de soldadura en la tabla 4.1.

Se consideró un ángulo de rotación de 360° para permitir una cobertura completa en la aplicación de soldadura, junto con una estructura que facilite la fijación y manipulación de los cilindros. Estos parámetros están definidos con base en las necesidades operativas expuestas en el apartado 4.3.1, y las limitaciones económicas del proyecto expuestas en el capítulo 2, garantizando un diseño funcional, seguro y viable dentro del entorno de trabajo.

Tabla 4. 1 Especificaciones del Sistema de Posicionamiento

Parámetro	Valor
Mecanismo de rotación	Eje guiado
Diámetro del tanque	0,7 m a 1,7 m
Longitud del tanque	≥ 0,7 m

Capacidad de carga	300 kg (2940 N)
Avance lineal de soldadura	2 mm/s a 6 mm/s
Ángulo de rotación	360°

4.2 Solución propuesta

En el diseño del prototipo se tomaron como referencia sistemas comerciales utilizados para posicionadores de grandes diámetros, con el objetivo de adaptar sus funcionalidades a una aplicación más ligera y versátil. Se optó por una estructura modular compuesta por cuatro unidades de soporte organizadas en pares, lo que facilita el montaje, el mantenimiento y la adaptabilidad a distintos tamaños de tanque.

Cada módulo se fija sobre dos correas estructurales fabricadas en acero, las cuales presentan perforaciones distribuidas a lo largo de su longitud. Estas perforaciones permiten modificar la ubicación de los módulos de forma precisa, ajustando el sistema al diámetro requerido. Este enfoque evita rediseñar la estructura para cada aplicación, reduce tiempos y costos de operación y permite variar la separación lateral para adaptarse a diferentes longitudes de tanque, véase en la Figura 4.1. Esta capacidad de ajuste mejora la versatilidad del prototipo, garantiza una distribución homogénea del peso y reduce tensiones en puntos específicos de la estructura.

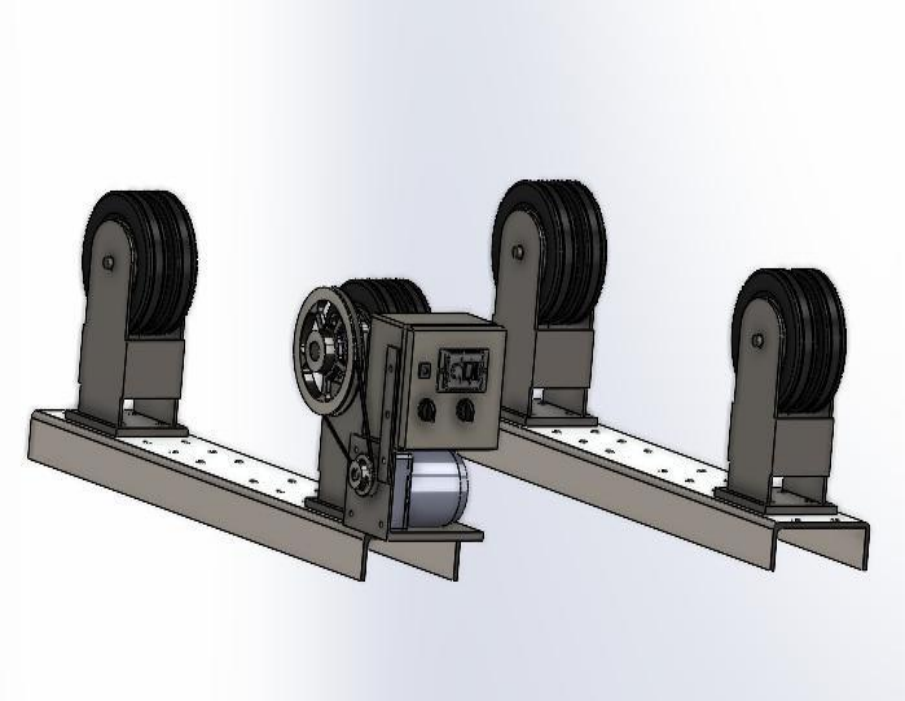


Figura 4. 1 Prototipo mecánico del posicionador horizontal, modelado en SolidWorks.

Módulo de apoyo

El módulo de apoyo se incorporó para sostener el tanque y permitir su giro sin fijaciones internas. Está compuesto por un eje transversal montado sobre placas laterales de acero, con ruedas industriales ubicadas en la zona de contacto con el recipiente. La disposición permite que el tanque descanse sobre puntos de apoyo estables y que el giro se produzca con menor esfuerzo.

Las ruedas con rodamientos reducen la resistencia al movimiento y ayudan a conservar un desplazamiento uniforme durante el arranque. Esta condición es importante porque las variaciones bruscas de giro pueden afectar la continuidad del cordón de soldadura.

Las perforaciones de regulación permiten cambiar la posición del eje de acuerdo con el diámetro del tanque. En lugar de usar un ajuste libre, se eligieron posiciones definidas para facilitar el montaje y repetir la alineación durante las pruebas. Esta decisión reduce errores de posicionamiento y simplifica el uso del equipo con recipientes de diferente tamaño.

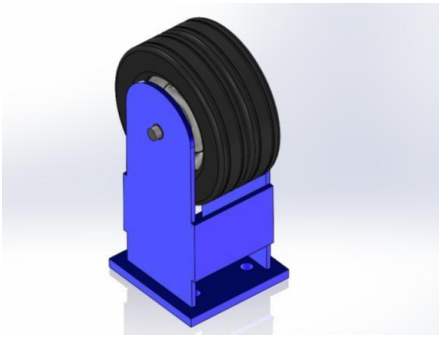


Figura 4. 2 Sistema de soporte módulo de apoyo

Módulo motriz

El módulo motriz genera el movimiento de rotación mediante un eje transversal acoplado al motorreductor. El eje se apoya sobre chumaceras y transmite el movimiento a las ruedas motrices, encargadas de hacer girar el tanque por contacto. La transmisión por banda y polea permite separar el motor de la zona directa de carga y facilita el mantenimiento del conjunto.

Esta configuración se escogió porque permite transmitir el par de forma sencilla, mantener el acceso a los componentes y ajustar la velocidad desde el variador de frecuencia. Durante la operación, la regulación del giro se adapta a la velocidad de avance requerida por la soldadura y al diámetro del tanque instalado sobre los apoyos.

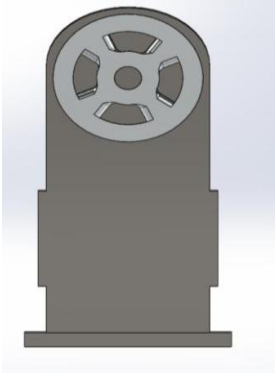


Figura 4. 3 Modulo con sistema de chumacera y polea para motricidad

4.3 Especificaciones del posicionador diseñado

En esta sección se presentan las especificaciones técnicas del posicionador diseñado, estableciendo los parámetros generales de su funcionamiento, los materiales empleados y el sistema de transmisión.

4.3.1 Parámetros generales del diseño

El posicionador diseñado cumple con los requisitos del proyecto, garantizando un sistema estable y preciso para la manipulación de tanques de distintos tamaños.

- Capacidad de carga: 300 kg (2940 N) con un factor de seguridad de 2.
- Dimensiones generales del módulo: 149 mm de largo, 152 mm de ancho y 332 mm de alto.
- Capacidad de carga por módulo: 75 kg de carga operativa, con margen de selección para absorber variaciones durante el montaje.
- Correa perforada: Correa tipo C de 4 mm de espesor, con dimensiones de 120 mm x 22 mm.
- Rango de ajuste del diámetro: 700 mm a 1700 mm, mediante ajuste entre módulos.
- Rango de ajuste de longitud: ≥ 0,7 m (recomendado).
- Ángulo de rotación: 360°, asegurando cobertura total sin necesidad de reposicionamiento.
- Velocidad de rotación: ajustable de acuerdo con el diámetro del tanque para obtener un avance lineal de soldadura entre 2 mm/s y 6 mm/s.

4.3.2 Características de funcionamiento

El posicionador ha sido diseñado para proporcionar una operación eficiente y adaptable a distintas condiciones de trabajo, mírese en la Tabla 4.2.

Ajuste modular: El sistema cuenta con módulos desplazables que se montan sobre correas estructurales perforadas, permitiendo modificar la distancia entre ellos según el diámetro del tanque. Las perforaciones están distribuidas de forma equidistante; la separación mínima entre módulos es de 400 mm y la máxima de 1040 mm, con incrementos de 80 mm. Esto proporciona un amplio margen de ajuste para diferentes diámetros de tanque y facilita una regulación precisa y segura del posicionamiento.

Sistema de transmisión: La rotación del tanque se obtiene mediante un motorreductor acoplado a una polea mediante una banda de transmisión. Este conjunto permite transferir el par con eficiencia, manteniendo un funcionamiento constante y controlado. El sistema incorpora un controlador de velocidad que regula el motor, lo cual permite adaptar la rotación del tanque a los requerimientos específicos del proceso de soldadura, optimizando tanto la calidad del cordón como la estabilidad del movimiento.

Estabilidad y distribución de carga: El diseño simétrico de los módulos, junto con su distribución en pares, permite repartir el peso del tanque de manera homogénea sobre las ruedas industriales. Esta configuración reduce los puntos de esfuerzo concentrado y mejora la estabilidad general del sistema, evitando deformaciones o fallas estructurales durante la operación. Además, la baja fricción de los rodamientos contribuye a un desplazamiento suave y controlado.

Facilidad de uso: El sistema está diseñado para permitir ajustes rápidos sin necesidad de herramientas especializadas. El acceso directo a las perforaciones de las correas y la disposición simple de los módulos facilita su configuración, disminuyendo los tiempos de preparación. Esta característica no solo incrementa la eficiencia operativa, sino que también mejora las condiciones ergonómicas del operario y reduce el riesgo de accidentes por manipulación.

Tabla 4. 2 Componentes del Sistema de Posicionamiento

Parte	Componente	Descripción
1	Motorreductor	Alto torque vertical
2	Sistema de poleas y correas	Juego de poleas reductoras
3	Ruedas industriales con rodamientos	Rueda de caucho con rodamiento
4	Chumaceras	De alta carga
5	Eje transversal	Para soporte y movimiento
6	Placas de acero estructural	Acero ASTM A36
7	Correas estructurales perforadas	Acero ASTM A36
8	Control de velocidad variable	Control para avance lineal de 2 mm/s a 6 mm/s

4.4 Selección de componentes mecánicos

Previo al diseño detallado y la selección de componentes mecánicos, se realizó un análisis exhaustivo de los componentes requeridos para el sistema de posicionamiento. Para ello, se establecieron criterios como la capacidad de carga, compatibilidad dimensional, disponibilidad en el mercado, facilidad de fabricación, estabilidad durante la operación y relación costo beneficio. Estos lineamientos permitieron seleccionar componentes adecuados para las condiciones reales de trabajo, asegurando tanto el rendimiento como la viabilidad técnica del sistema. Las decisiones están respaldadas por simulaciones estructurales en SolidWorks y cálculos técnicos que validaron el comportamiento esperado de cada pieza dentro del conjunto.

4.4.1 Rueda de carga

Para seleccionar la rueda adecuada para cada módulo, es necesario realizar un análisis que considere la carga soportada por cada rueda, el factor de seguridad, y la fuerza de fricción que genera con el cilindro metálico.

Cálculo de la Carga por Rueda

El posicionador soporta una carga total de 300 kg, distribuida en 4 módulos, cada uno con 2 ruedas sólidas.

$$C_r = \frac{W}{N_r} \tag{4.1}$$

Donde:

C_r = Carga por rueda (kg)

W = Carga total del sistema (kg)

N_r = Número total de ruedas (uds)

$$C_r = \frac{300Kg}{8\ uds}$$

$$C_r\ = 37{,}5\ \frac{Kg}{uds}$$

Verificación de Factor de Seguridad

Para garantizar que la rueda no falle bajo carga dinámica, se aplica un factor de seguridad apropiado para una máquina (FS ≥ 2):

$$FS = \frac{CA}{CR} \tag{4.2}$$

Donde:

FS = Factor de seguridad

CA= Carga aplicada (Kg)

CR = Capacidad de resistencia real (Kg)

$$FS = \frac{90Kg}{37{,}5\ Kg}$$

$$FS = 2{,}4$$

Cálculo de la fuerza de fricción generada.

Para asegurar que la rueda pueda girar con facilidad, se calcula la fuerza de fricción estática entre la rueda y la superficie de apoyo tomando en cuenta el coeficiente de fricción del caucho sobre el cilindro metálico de (0,3).

La fuerza normal es calculada mediante la ecuación 4.3.

$$N = m \cdot g \tag{4.3}$$

Donde:

m = masa (kg)

g = gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

$$N = 37{,}5\ kg \cdot 9.8\ (\frac{m}{s^2})$$

$$N = 367{,}88\ N$$

La transferencia de movimiento de la rueda al tanque depende de la fuerza de fricción, la cual se calcula con la ecuación 4.4.

$$F_f = \mu \cdot N \quad (4.4)$$

Donde:

F_f = Fuerza de fricción (N)

μ = Coeficiente de fricción

N = Fuerza normal (N)

$$F_f = 0{,}3 \cdot 367{,}88 \text{ N}$$

$$F_f = 110{,}36 \ N$$

La fuerza de fricción es de aproximadamente 110,36 N por rueda, valor aceptable para el sistema de transmisión y adecuado para garantizar estabilidad, resistencia y funcionamiento eficiente del sistema de posicionamiento, como se puede observar las especificaciones de la rueda en la tabla 4.3.

Tabla 4. 3 Especificaciones del fabricante: rueda prosource

Especificaciones de la rueda	Rueda (prosource)
Diámetro exterior	195 mm
Diámetro interior	16 mm
Ancho	45 mm.
Tipo de rodamiento	Embutido
Capacidad de carga	Hasta 90 kg
Peso de la rueda	1,8 kg

Bajo los criterios de disponibilidad en el mercado y costo, se seleccionó una llanta de calidad media, accesible y económica, facilitando su adquisición para futuros mantenimientos figura 4.4.



Figura 4. 4 Rueda maciza prosource **(**doble rodamiento embutido)

4.4.2 Módulo de apoyo

El dimensionamiento de este componente se basa en las características de las ruedas seleccionadas previamente, asegurando la posición de las ruedas y una distribución uniforme como se puede observar en el DCL de la Figura 4.5, con las componentes de fuerza existentes en el módulo de apoyo además de las cargas a las que se encuentra sometido.

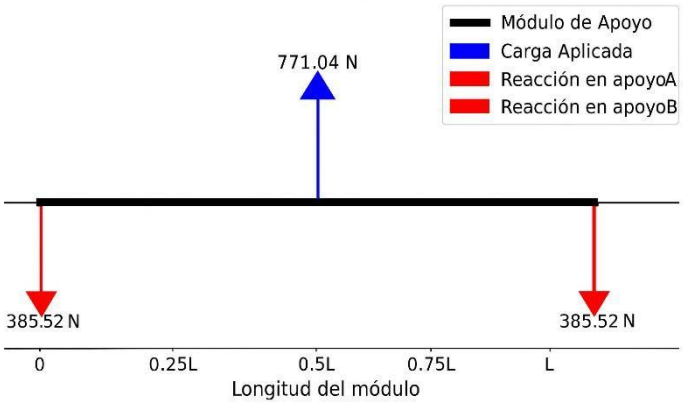


Figura 4. 5 Módulo de apoyo bajo carga (DCL)

Para verificar que el material seleccionado soporta adecuadamente la carga aplicada, se llevó a cabo un análisis de esfuerzos considerando una fuerza de 771,04 N aplicada de forma diagonal, equivalente a una condición crítica del módulo de apoyo.

En la figura 4.6 se observa la distribución de esfuerzos y momentos que actúan sobre la base de la estructura. Se identifican zonas de mayor esfuerzo en la región de contacto con las ruedas y en los puntos de fijación.

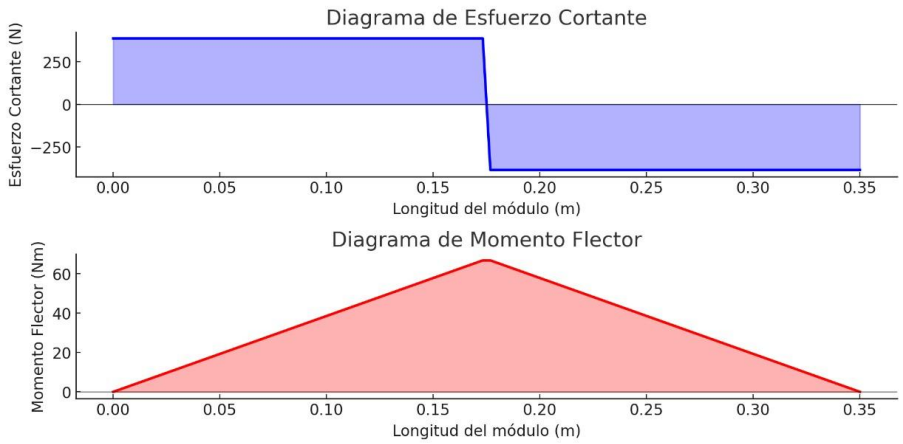


Figura 4. 6 Diagrama de esfuerzo y momento flector

Para garantizar robustez estructural y resistencia mecánica, se optó por un perfil rectangular de acero ASTM A36 de 280 x 100 x 6 mm con una base de 160 x 160 mm, debido a su

disponibilidad dentro de la fábrica, bajo costo y resistencia mecánica.

Factor de Seguridad (FS):

El Factor de Seguridad (FS) se calcula comparando el esfuerzo máximo permitido por el material con el esfuerzo real aplicado en la estructura aplicando la ecuación 4.5.

$$FS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{real}} \qquad (4.5)$$

Donde:

σ_{adm}= Esfuerzo admisible del material (MPa),

σ_{real}= Esfuerzo máximo aplicado en la estructura (MPa),

$$FS = \frac{250\ \text{MPa}}{15{,}5\ \text{MPa}}$$

$$FS = 16{,}12$$

Deformación Máxima:

La simulación indicó una deformación máxima de 0,02 mm, valor prácticamente despreciable. Esto confirma que la estructura del posicionador mantiene una alta rigidez sin comprometer la estabilidad del sistema ante vibraciones o cargas inesperadas.

Distribución de Tensiones (von Mises):

El análisis de tensiones muestra que las zonas con mayor esfuerzo se encuentran en los puntos de fijación del tanque y los soportes principales.

La tensión máxima registrada en la figura 4.7 es de 15,5 MPa, valor considerablemente inferior al límite elástico del material (250 MPa), lo que asegura que la estructura no sufrirá deformaciones plásticas bajo condiciones normales de operación.

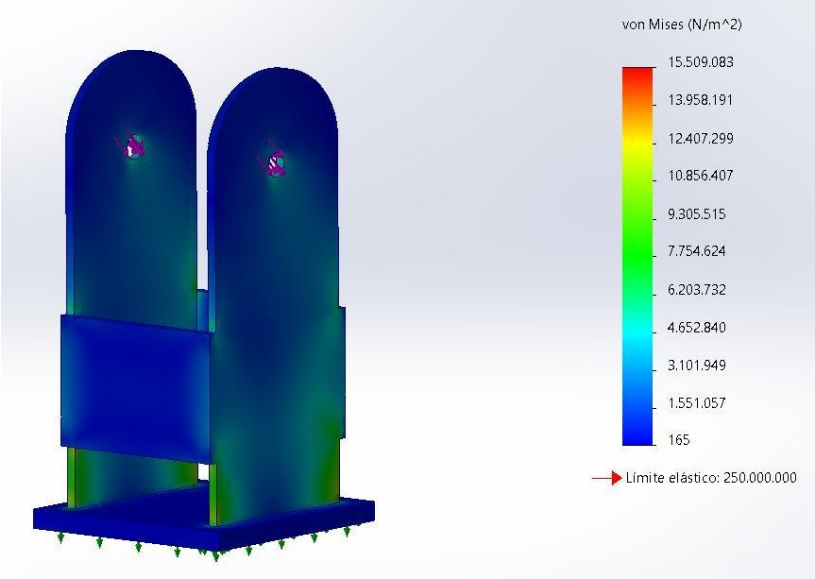


Figura 4. 7 (Análisis estático) módulo de apoyo

4.4.3 Eje transversal

El eje transversal ha sido seleccionado de acuerdo con el diámetro interior del rodamiento de la rueda. En base a esta especificación, se realizaron los cálculos del material correspondiente para garantizar su resistencia y desempeño óptimo bajo la carga aplicada.

Diámetro del eje: 16 mm

Radio del eje: 8 mm

Longitud del eje: 140 mm

La carga aplicada sobre el eje se distribuye entre 4 módulos, por lo que la carga aplicada se muestra en la figura 4.8.

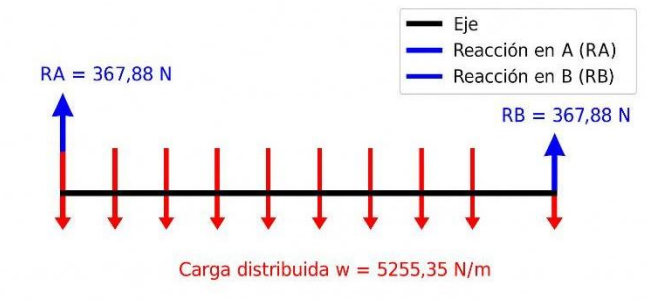


Figura 4. 8 Eje transversal DCL

Para una carga distribuida uniformemente a lo largo del eje, la carga por unidad de longitud se calcula mediante la ecuación (4.6):

$$w = \frac{P}{L} \tag{4.6}$$

Donde:

w = Carga distribuida (N/m)

P = Carga aplicada (N)

L = Longitud del eje (m)

Sustituyendo los valores:

$$w = \frac{735{,}75\ N}{0{,}14\ m}$$

$$w = 5255\frac{N}{m}$$

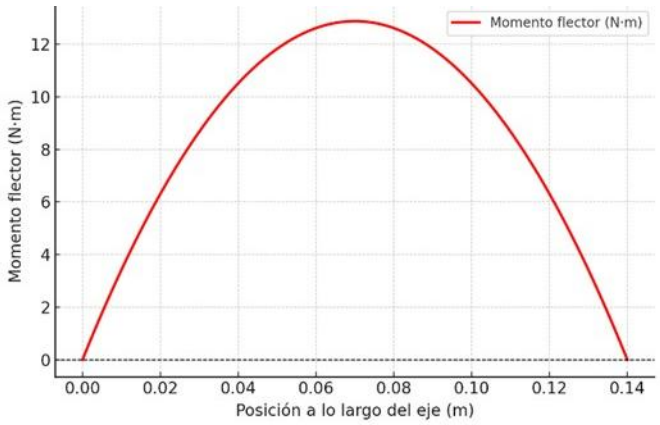


Figura 4. 9 Diagrama del Momento flector del Eje transversal

Cálculo del momento flector máximo

Para un eje simplemente apoyado con carga uniformemente distribuida, como se observa en la Figura 4.9, el momento máximo se concentra en la mitad del eje. Por tanto, el momento flector máximo se calcula con la ecuación (4.7):

$$M = \frac{(W \cdot L^2)}{8} \tag{4.7}$$

Donde:

M = Momento flector máximo (N·m)

w = Carga distribuida (N/m)

L = Longitud del eje (m)

Sustituyendo los valores:

$$M = \frac{(5255\frac{N}{m} \cdot (0{,}14)^2}{8}$$

$$M = 12{,}88\ N \cdot m$$

Cálculo del momento de inercia de la sección circular

El momento de inercia para una sección circular se determina con la ecuación (4.8):

$$I = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot R^4 \tag{4.8}$$

Donde:

I = Momento de inercia (m^4)

R = Radio del eje (m)

Sustituyendo los valores:

$$I = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (0{,}008)^4$$

$$I = 3{,}217 \times 10^{-9}\ m^4$$

Cálculo del esfuerzo normal por flexión

El esfuerzo normal por flexión se calcula mediante la ecuación (4.9):

$$\sigma = \frac{(M \cdot c)}{I} \tag{4.9}$$

Donde:

σ = Esfuerzo normal por flexión (MPa)

M = Momento flector máximo (N·m)

c = Distancia del eje neutro a la fibra extrema (m)

I = Momento de inercia de la sección (m^4)

Sustituyendo los valores:

$$\sigma = \frac{(12{,}88\ \text{N·m} \cdot 0{,}008\ \text{m})}{3{,}217 \times 10^{-9}\ \text{m}^4}$$

$$\sigma = 32{,}05\ MPa$$

Verificación del factor de seguridad

El factor de seguridad se obtiene dividiendo el esfuerzo admisible entre el esfuerzo real aplicado, según la ecuación correspondiente:

$$FS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{real}}$$

Donde:

FS = Factor de seguridad

σ_{adm} = Esfuerzo admisible del material (MPa)

σ_{real}= Esfuerzo máximo aplicado (MPa)

Sustituyendo los valores:

$$FS = \frac{530\ MPa}{32{,}05\ MPa}$$

$$FS = 16{,}54$$

El cálculo muestra que, bajo las condiciones de carga y dimensiones indicadas, el eje presenta un esfuerzo de flexión de aproximadamente 32 MPa. Como se aprecia en la figura 4.10, este valor se encuentra por debajo del valor de referencia empleado para el acero AISI 1045, por lo que el eje trabaja dentro de un margen aceptable de seguridad.

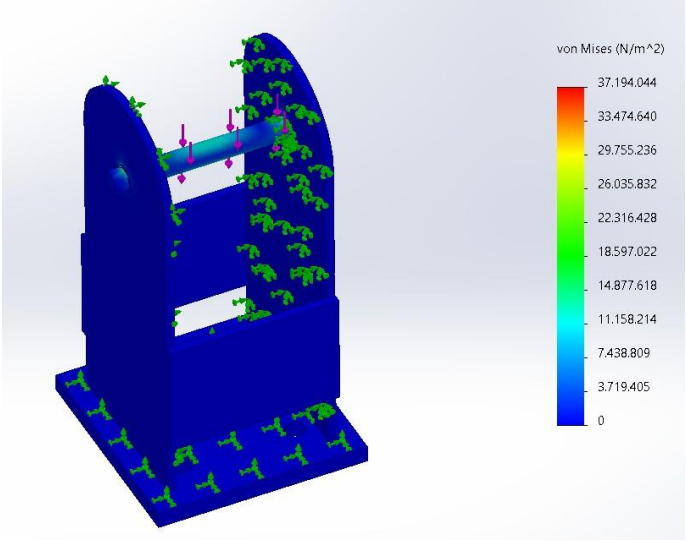


Figura 4. 10 Análisis de cargas sobre eje transversal

4.4.4 Correa tipo C

El sistema de ajuste permite adaptar el posicionador a diferentes diámetros y longitudes de tanque, asegurando los módulos en distintos puntos de apoyo mediante pernos de fijación, como podemos ver en la Figura 4.10. La correa tipo C debe soportar la carga de los módulos y el peso transmitido por el tanque. Selección de la correa perforada y mecanismo de ajuste:

El sistema de ajuste entre módulos permite trabajar con diámetros de tanque entre 700 mm y 1700 mm y una longitud recomendada de ≥ 0,7 m, se puede observar de manera didáctica en la Figura 4.11.

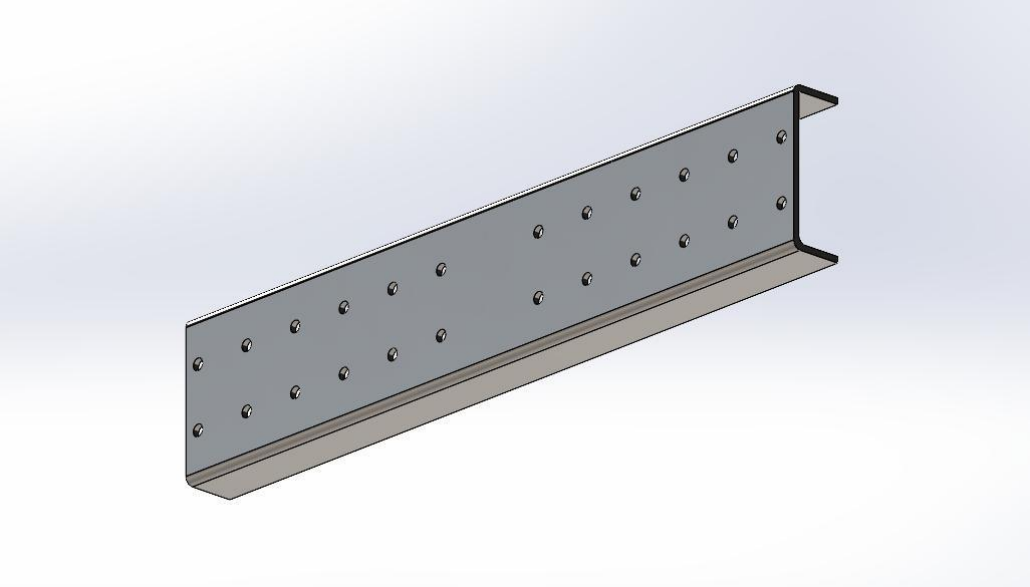


Figura 4. 11 Correa tipo C perforada

Cálculo de esfuerzos en la correa en el punto de esfuerzo máximo.

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{4.11}$$

Donde:

σ = Esfuerzo de tracción en la correa (MPa)

F = Fuerza aplicada sobre la correa (N)

A = Área efectiva de la sección transversal de la correa (m²)

Datos utilizados:

$$\sigma = \frac{3569{,}64\ N}{256 m^2 \cdot 10^{-6}}$$

$$\sigma = 13{,}95\ MPa$$

Se utilizó una correa tipo C ASTM A36 de 4 mm de espesor, con dimensiones de 120 mm x 22 mm, garantizando resistencia mecánica suficiente para ajustes repetitivos.

Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

Esfuerzo de fluencia (σ_y): 250 MPa

Esfuerzo último (σ_u): 400 - 550 MPa

Verificación del Factor de Seguridad (FS)

El Factor de Seguridad (FS) se calcula con la ecuación 4.5:

$$FS = \frac{250\ MPa}{13{,}95\ MPa}$$

$$FS = 17{,}92$$

Los cálculos realizados indican que el esfuerzo de tracción en la correa es de 13,95 MPa, mientras que el Factor de Seguridad es 17,92. Esto confirma que la correa opera en condiciones seguras sin riesgo de deformación plástica o falla estructural.

De acuerdo con la Tabla 4.3, al incrementar la separación entre módulos aumenta el diámetro estimado del tanque que puede ser soportado por el posicionador. Esta relación permite ajustar el equipo de forma progresiva desde 700 mm hasta 1.700 mm, garantizando versatilidad para trabajar con tanques atmosféricos de diferentes dimensiones.

Tabla 4. 4 Separación de módulos y diámetros ajustables

Separación entre módulos (mm)	Diámetro estimado del tanque (mm)
400	700
480	820
560	950
640	1080

720	1200
800	1320
880	1450
960	1580
1040	1700

4.4.5 Poleas y banda

El sistema de transmisión del posicionador de tanques incluye un sistema de polea y banda con una relación de transmisión desde el eje de transmisión y el motor seleccionado usando una reducción base de 4:1. A continuación, se presentan los cálculos para determinar la velocidad de salida y el torque transmitido.

Relación de Transmisión de la Polea y Banda.

La relación de transmisión en un sistema de poleas se determina con la ecuación:

$$R = \frac{D_{salida}}{D_{entrada}} \tag{4.12}$$

Donde:

R = Relación de transmisión

D_{salida}= Diámetro de la polea de salida (8 in)

$D_{entrada}$ = Diámetro de la polea del motor (2 in) Sustituyendo valores:

$$R = \frac{8}{2} = 4$$

Esto significa que la velocidad angular de la polea de salida será 4 veces menor que la del motor, mientras que el torque aumentará 4 veces, este índice se usará en el apartado de selección de motores para verificar si está correctamente seleccionada.

4.4.6 Eje conductor

El eje conductor seleccionado es de acero AISI 1045, con un diámetro central de 30 mm y reducciones a 25 mm y 20 mm en los extremos para montaje de chumaceras y polea, respectivamente. Esta selección se basa en los requerimientos de torque y resistencia del sistema de transmisión, como se observa en la figura 4.11.

Selección del diámetro del Eje

Para garantizar la compatibilidad con las chumaceras y las bocinas de las ruedas, el diseño del eje incluye las siguientes dimensiones:

- Diámetro en el centro del eje: 30 mm
- Diámetro en los extremos: 25 mm (para las chumaceras)
- Reducción a 20 mm en la zona de la polea para asegurar un correcto acople y transmisión de fuerza.

Soporte y Montaje

El eje será montado utilizando dos chumaceras de 25 mm en los extremos, proporcionando estabilidad y minimizando el tiempo de maquinado del eje de transmisión. Esta configuración permite que el eje gire suavemente mientras soporta la transmisión de torque hacia las ruedas.

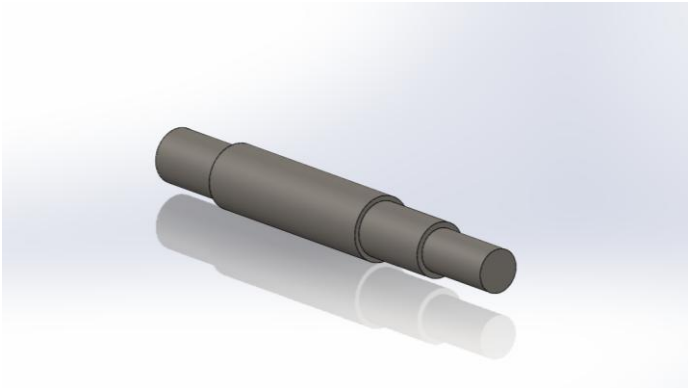


Figura 4. 12 *Eje de transmisión de movimiento*

4.4.7 Selección de chumaceras

Para garantizar la estabilidad y eficiencia del sistema de transmisión, se ha realizado la selección adecuada de las chumaceras que soportarán el eje de transmisión. Se han considerado factores como el torque aplicado por el motor, la carga transmitida y la facilidad de fabricación del eje.

Criterios de Selección

La selección de las chumaceras se realizó tomando en cuenta los siguientes factores:

- Torque del motor: Para asegurar que las chumaceras puedan resistir el esfuerzo transmitido por el sistema de transmisión sin generar deformaciones o fallas prematuras.
- Eje de 25 mm en los extremos: Se ha optado por un diámetro de 25 mm en los extremos para evitar una reducción excesiva del eje de transmisión, lo que permite mayor resistencia y evita un mecanizado excesivo.
- Durabilidad y facilidad de mantenimiento: Se seleccionaron chumaceras accesibles y de fácil reemplazo para minimizar los tiempos de mantenimiento.

Chumacera con Rodamiento UCF 205

Mediante la revisión de chumaceras disponibles en el mercado y de fácil acceso, se seleccionó la chumacera FY 25 TF de SKF, especificaciones técnicas en la tabla 4.5, compatible con el diámetro de eje definido para el sistema [22].

Tabla 4. 5 *Especificaciones técnicas de la chumacera FY 25 TF [22].*

Dimensión	Valor
Diámetro de los tornillos de fijación	10 mm
Diámetro del eje	25 mm
Ancho total del soporte	27 mm
Ancho total	35,6 mm
Ancho del rodamiento total	34 mm
Distancia del centro entre los orificios para tornillos	70 mm

4.5 Selección de componentes eléctricos

El sistema electrónico del posicionador de tanques requiere un análisis de potencia y control para mejorar la eficiencia y reducir costos. En este apartado se presentan los cálculos de potencia eléctrica para la selección del motor y su controlador, y la elección de componentes según los requerimientos del sistema, asegurando un funcionamiento óptimo y un consumo energético adecuado.

4.5.1 Selección del motorreductor

La selección del motorreductor es fundamental para garantizar el control de velocidad y torque en el posicionador de tanques. Un motor sin reducción no ofrecería la fuerza necesaria para mover la carga, por lo que se optó por un motor con reductor integrado. En este apartado se presentan los cálculos y criterios de selección para asegurar un sistema eficiente y confiable.

- Peso total del tanque: 300 kg

- Gravedad: 9,8 m/s²
- Número de módulos: 4
- Peso por módulo: 75 kg
- Coeficiente de fricción (caucho sobre metal): 0.3
- Radio de la rueda motriz: 0,0975 m

Fuerza normal en cada rueda calculada con la ecuación 4.3:

F_N= Fuerza normal por rueda (N)

$$F_N = \frac{735}{2}\ N$$

$$F_N = 367{,}5\ N$$

Fuerza de fricción aplicada usando la ecuación 4.4:

Donde

F_f = Fuerza de rozamiento (N)

F_{ftotal}= Fuerza de rozamiento total en el módulo (N)

$$F_f = 0{,}3 \cdot 367.5$$

$$F_f = 110{,}25\ N$$

$$F_{ftotal} = 2 \cdot 110{,}25$$

$$F_{ftotal} = 220{,}5\ N$$

El torque en la rueda motriz se calcula con la ecuación:

$$T_{rueda} = F_{ftotal} \cdot r \qquad (4.13)$$

Donde:

T_{rueda} = = Torque en la rueda (Nm)

R_{Ftotal}= Torque total (Nm)

r = Radio del eje (m)

$$T_{rueda} = 220{,}5 \cdot 0{,}0975$$

$$T_{rueda} = 21{,}50\ Nm$$

1. Motorreductor vertical de alto torque

Los motores verticales de alto torque son ideales para aplicaciones que requieren bajo consumo energético, alto par de salida y control de velocidad variable. Incorporan un reductor de velocidad en su diseño, simplificando la instalación y eliminando la necesidad de sistemas de transmisión adicionales.

Ventajas

- Costo reducido: Más económico en comparación con motores trifásicos con
- variador.
- Fácil control: No requiere un variador de frecuencia ni drivers especializados.
- Integración simplificada: Incluye su propio reductor de velocidad, reduciendo la necesidad de otros componentes.
- Eficiencia energética: Bajo consumo eléctrico, ideal para aplicaciones con carga moderada.

Desventajas

- Necesita un torque elevado para el arranque por la caja reductora.
- Baja disponibilidad en el mercado comercial.
- Especificaciones del motor:
- Motorreductor de alto torque con velocidad variable
- Potencia de salida: 90 W
- Torque mínimo requerido: 0,09 Nm
- Velocidad nominal: 1.800 RPM.

2. Motores trifásicos con variador de frecuencia

Los motores trifásicos de inducción son altamente confiables y eficientes para aplicaciones industriales. Sin embargo, para lograr un control de velocidad preciso, requieren el uso de un variador de frecuencia (VFD), lo que aumenta el costo total y la complejidad de la instalación.

Ventajas

- Alta durabilidad y confiabilidad
- Eficiencia en aplicaciones de alta potencia
- Control preciso de velocidad mediante VFD

Desventajas

- Costo elevado: Tanto el motor como el VFD incrementan significativamente el presupuesto.
- Requiere instalación y configuración especializada.
- Espacio adicional necesario para el variador.
- Motor necesario en este caso:
- Motor trifásico ½ hp

- Velocidad de 1.800 RPM
- Transmisión por reductor adicional.

3. Motores paso a paso con reductor y driver

Los motores paso a paso ofrecen un control preciso de posición, pero no son la mejor opción para movimientos continuos y carga constante, como en el posicionador de tanques. Además, requieren drivers electrónicos y reductores adicionales, lo que los hace ineficientes en términos de costo y consumo energético, la comparación de los motores se realizó en la tabla 4.6.

Ventajas

- Control preciso de posición
- Buena opción para aplicaciones de indexado

Desventajas

- Ineficientes en torque sostenido.
- Requieren controladores adicionales (drivers).
- Menor eficiencia energética.
- Motor necesario en este caso:
- Motor paso a paso NEMA 23 con reductor.
- Driver de control y fuente de alimentación independiente.
- Comparación de opciones de motores

Tabla 4. 6 Comparativa de selección de motor

Característica	Motor Vertical de Alto Torque	Motor Trifásico + VFD	Motor Paso a Paso
Costo	Bajo	Alto	Medio
Facilidad de Control	Fácil	Complejo	Intermedio
Eficiencia Energética	Alta	Alta	Baja
Requiere transmisión externa adicional	Sí, mediante poleas y banda	Sí	Sí
Aplicación Recomendada	Posicionadores, sistemas de carga	Líneas producción,	Automatización de precisión,

Tras evaluar las tres opciones, el motorreductor vertical con control de velocidad es la mejor alternativa para el posicionador de tanques, ya que:

- Es la opción más económica y eficiente.
- Incluye reductor integrado, simplificando el acople del sistema de transmisión.
- Incluye su propio reductor de velocidad, simplificando el sistema.
- Es fácil de instalar y ajustar.

Cálculo del torque requerido en el motor.

Relación de reducción del reductor: 20:1

Relación de reducción de poleas: 4:1 Considerando:

R_{Total}= Relación de reducción total

$$R_{Total} = 60 \cdot 4$$

$$R_{Total} = 240$$

El torque en el eje del motor es:

$$T_m = \frac{T_r}{R} \quad (4.14)$$

T_r = Torque en la rueda (Nm)

T_m= Torque en el motor (Nm)

R = Reducción de la caja

$$T_m = \frac{21{,}50}{240}$$

$$T_m = 0{,}0896\ Nm$$

Cálculo de la Potencia del Motor Velocidad nominal del motor: 1500 RPM Velocidad angular del motor usando:

$$\omega = \frac{RPM \cdot 2\pi}{60} \quad (4.15)$$

Donde:

ω = Velocidad angular del motor (rad/s)

RPM = Velocidad de giro del motor en revoluciones por minuto

$$\omega = \frac{1800 \cdot 2\pi}{60}$$

$$\omega = 188{,}49\ rad/s$$

La potencia del motor se calcula con:

$$P = T_{motor} \cdot \omega \quad (4.14)$$

Donde

P= Potencia requerida (w)

T_{motor}=Torque del motor (Nm)

ω=Velocidad Angular del motor (rad/s)

$$P = 0{,}0896\ N \cdot 188{,}49\ \frac{rad}{s}$$

$$P = 16{,}89\ W$$

El motor necesario debe cumplir con los siguientes requisitos, las especificaciones del motor que más se aproxima a los requisitos se observa en la tabla 4.7

Torque mínimo: ≥ 0,09 Nm

Potencia mínima: ≥ 17 W

Velocidad nominal: 1500 RPM

Tabla 4. 7 Información sobre el motorreductor seleccionado

Característica	**Especificaciones**
Potencia nominal	90 W
Tipo de motor	Motor eléctrico monofásico
Tensión de alimentación	220 V AC
Frecuencia	50/60 Hz
Velocidad nominal del motor	1400-1500 rpm
Tipo de reductor	Reductor mecánico integrado
Relación de reducción	1:20

4.5.2 Control y regulación de velocidad

Para garantizar un avance de soldadura preciso, se integró el controlador de velocidad del motorreductor. Esto facilita el acoplamiento con el motor y reduce el tiempo de instalación. Posteriormente, se calculó la relación entre la velocidad angular del tanque y el avance lineal de soldadura, asegurando que se mantenga dentro del intervalo de 2 mm/s a 6 mm/s. Finalmente, se evaluó la estabilidad del sistema en diferentes ajustes de velocidad para verificar que no existan fluctuaciones indeseadas en la rotación, tabla 4.8.

Tabla 4. 8 Especificaciones técnicas del controlador de velocidad

Característica	Valor
Tensión de alimentación	220 V AC
Frecuencia	50/60 Hz
Potencia compatible	≥ 90 W
Tipo de control	Regulación electrónica de velocidad
Modo de accionamiento	Pedal y selector de operación
Sentido de giro	Horario y antihorario
Elemento de ajuste	Potenciómetro de velocidad
Protección operativa	Parada de emergencia y protección eléctrica

4.5.3 Sistema de pedal

El sistema de pedal es una solución ergonómica y eficiente que permite el control del giro del tanque de manera sencilla y segura. Este mecanismo es ideal para operadores que requieren un ajuste preciso sin necesidad de usar las manos, facilitando la manipulación del tanque durante el proceso de posicionamiento.

4.5.4 Selector de tres posiciones

El selector de tres posiciones es un componente clave en el sistema de control del motor, ya que permite cambiar entre diferentes modos de operación de manera sencilla. Este tipo de interruptor es comúnmente utilizado en sistemas de automatización y control de motores eléctricos.

Modos de operación del selector

El selector de tres posiciones permitirá las siguientes funciones:

- Posición 1 - Giro en sentido horario (CW - Clockwise)

Activa el motor en dirección horaria, haciendo girar el tanque en un sentido determinado.

Se conecta al circuito de control para invertir la polaridad o activar el relay correspondiente.

- Posición 2 - Apagado (OFF - Neutro)

El motor se mantiene apagado, sin aplicar corriente al sistema.

Ideal para detener el posicionador cuando no se requiere movimiento.

- Posición 3 - Giro en sentido antihorario (CCW - Counterclockwise)

Activa el motor en dirección antihoraria, permitiendo cambiar el sentido de giro.

Se utiliza cuando es necesario hacer ajustes en la posición del tanque sin cambiar su orientación.

4.6 Esquema eléctrico del motor

En la figura 4.13 se muestra la conexión eléctrica de un motor monofásico con capacitor, controlado mediante un sistema de velocidad variable propio del sistema

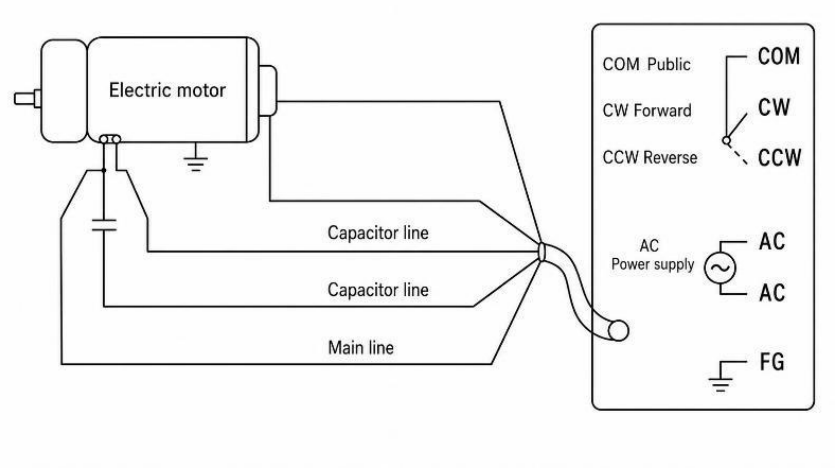


Figura 4. 13 *Diagrama de conexiones motorreductor y controlador*

4.7 Conformado del mecanismo

Eje de transmisión: fabricado en acero AISI 1045, con un diámetro central de 30 mm, reducciones a 25 mm en los extremos para chumaceras y 20 mm para el montaje de la polea véase en la Figura 4.14. El mecanizado se realiza en torno manual, empleando cuchillas con insertos de tungsteno y centrado de la pieza para conseguir los diámetros especificados con alineación adecuada.



Figura 4. 14 *Torneado del eje de transmisión de movimiento*

Caja de Control: Aloja el selector de tres posiciones, el pedal de activación y el controlador de velocidad. Su diseño protege los componentes eléctricos y permite un manejo eficiente del sistema, asegurando seguridad y facilidad de operación, véase en la Figura 4.15.

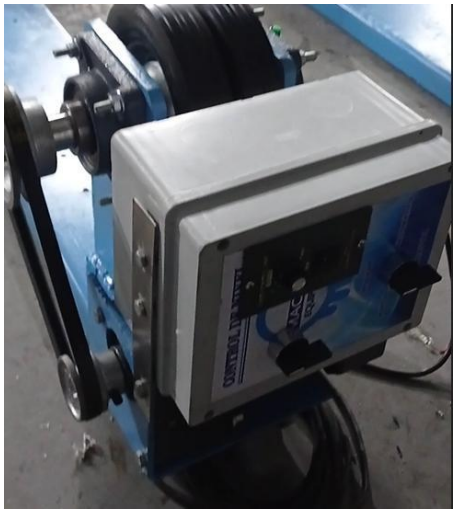


Figura 4. 15 *Caja de control colocada a un lateral del módulo para fácil acceso*

4.8 Optimización y ajustes finales

Después del montaje se realizaron ajustes sobre la estructura, el apoyo del tanque y la ubicación de los mandos. Las correcciones se enfocaron en reducir vibraciones visibles, mejorar el acceso del operario al panel y mantener una rotación más regular durante la prueba.

En la parte estructural se reforzaron zonas donde se observaron deformaciones o perdida de rigidez durante las primeras pruebas. También se revisó la alineación de los módulos para que el tanque mantuviera contacto con las ruedas durante el arranque y el giro continuo.

En la parte ergonómica se ubicó la caja de control en un lateral del módulo, de forma que el operario pueda accionar el pedal, ajustar la velocidad y detener el sistema sin acercar las manos a la zona de rotación.

La Tabla 4.9 resume los cambios observados en la postura de trabajo y en el acceso a los mandos después de los ajustes finales del prototipo.

Tabla 4. 9 Valores de satisfacción ergonómica de los trabajadores y operarios.

Parámetro	Valor previo	Valor tras ajustes	Variación absoluta	Mejora relativa (%)	Observaciones adicionales
Ángulo de muñeca en operación (grados)	45 ± 7	15 ± 3	−30 grados	−66 %	Reducción de desvío respecto a la posición neutral, minimizando riesgo de lesiones.
Tiempo medio de alcance de mandos (s)	1,8 ± 0,3	1,1 ± 0,2	−0,7 s	−39 %	Disminución de movimientos inútiles, agilizando la respuesta del operario.

Índice de confort subjetivo (escala 1–10)	5,6 ± 1,1	8,4 ± 0,6	+2,8 puntos	+50 %	Mejora notable en percepción de ergonomía y reducción de molestias.
Nivel de fatiga (escala Borg 6–20)	13 ± 1,5	9 ± 1	−4 puntos	−31 %	Menor carga percibida tras jornada continua de 2 h.
Tiempo de formación en puesto (min)	40 ± 5	25 ± 3	−15 min	−37,5 %	Reducción en curva de aprendizaje, reflejo de interfaz más intuitiva.
Índice Compuesto de Ergonomía (ICE)	0,72	0,89	+0,17	+23,6 %	Métrica que integra confort, fatiga y dinámica de movimientos.

Nota. Los valores se interpretan dentro del alcance de las pruebas realizadas con el prototipo y no como certificación ergonómica industrial.

Validación completa del sistema:

La validación se realizó como prueba funcional del prototipo construido. Se revisó la nivelación del área de trabajo, la fijación del conjunto, la respuesta del variador, el accionamiento por pedal y la parada de emergencia. Estas verificaciones permitieron comprobar que el equipo podía operar antes de iniciar las pruebas con tanque.

4.8.1 Selector de tres posiciones

Antes de la puesta en marcha se verifico que la superficie de apoyo estuviera nivelada y que los módulos se encontraran fijados. Luego se energizó el tablero de alimentación y se revisó el funcionamiento de los mandos principales. La calibración inicial se realizó ajustando la velocidad

hasta obtener un avance lineal de referencia de 6 mm/s, valor usado como punto de partida para las pruebas de soldadura.

También se accionaron los dispositivos de protección y la parada de emergencia para comprobar que el sistema detuviera el giro de forma inmediata. Esta etapa fue necesaria para evitar que una falla de control o una mala alineación del tanque afectara las mediciones posteriores.

4.9 Pruebas iniciales

Las pruebas iniciales se dividieron en funcionamiento sin carga y funcionamiento con carga progresiva. La Tabla 4.10 presenta los parámetros usados para verificar el comportamiento del conjunto durante la prueba sin carga.

Tabla 4. 10 Pruebas iniciales sin carga

Parámetro	Valor medido	Especificación	Cumplimiento	Observaciones
Estabilidad de giro (%)	99,2 ± 0,3	≥ 98 %	Cumple	Variación angular mínima, refleja un motor y acoplamientos equilibrados.
Vibración en bancada (mm/s RMS)	0,05 ± 0,01	≤ 0,10	Cumple	Nivel muy bajo, indica buen ajuste dinámico del conjunto giratorio.
Consumo energético (W)	85 ± 2	≤ 100	Cumple	Eficiencia alta sin carga, cercano al consumo teórico del motor.
Temperatura superficial (°C)	35 ± 2	≤ 40	Cumple	Disipación uniforme, sin puntos calientes.

Nivel de ruido (dB(A))	58 ± 3	≤ 65	Cumple	Adecuado para ambientes de taller, por debajo de umbrales de confort acústico.
Repetibilidad de posicionamiento (mm)	0,02 ± 0,005	≤ 0,05	Cumple	Elevada precisión en movimientos sin carga, esencial para arranques precisos.

Pruebas con carga progresiva:

Luego de la prueba sin carga se incrementó la exigencia del sistema con el tanque instalado. En esta etapa se observó la estabilidad del apoyo, la respuesta del variador y la continuidad del giro frente a cambios de peso y diámetro.



Figura 4. 16 *Prueba de funcionamiento del posicionador horizontal con un tanque de 0,7 m de diámetro durante el proceso de soldadura, verificando el giro continuo y la estabilidad del conjunto.*

Durante la prueba con el tanque de 0,7 m se observó que el conjunto mantuvo contacto estable entre el recipiente y las ruedas. La estabilidad disminuyó ligeramente al aumentar la carga, ¡comportamiento esperado por la mayor demanda de par; sin embargo, el giro se mantuvo dentro del rango funcional definido para el prototipo.

La desviación de velocidad aumento en las condiciones de mayor exigencia, pero no impidió continuar la operación. El consumo y la temperatura crecieron de forma gradual, por lo que se mantuvo la vigilancia sobre el motorreductor y el sistema de transmisión. La vibración también aumento con la carga, aunque no se observaron desplazamientos visibles del módulo durante el ensayo. Con la carga máxima ensayada el rendimiento disminuyó respecto a la prueba inicial, pero el sistema conservó un comportamiento funcional para el giro del tanque. Esta variación se atribuye a la mayor resistencia al arranque y a la necesidad de ajustar con mayor cuidado la velocidad de avance.

4.9.1 Validación del sistema de posicionamiento

El conjunto mantuvo su rigidez durante las pruebas de carga consideradas, sin evidenciar deformaciones permanentes visibles ni desplazamientos entre sus elementos principales. Las uniones, soportes, ruedas y chumaceras conservaron la alineación necesaria para permitir la rotación del tanque.



Figura 4.17 *Proceso de soldadura durante la validación*

El margen de error registrado fue menor que el observado en las primeras rondas de ajuste. Esta mejora se relaciona con la alineación de los módulos, la regulación del variador y la práctica del operario durante las pruebas. En consecuencia, el prototipo mostró una repetibilidad aceptable para el alcance del trabajo, aunque una evaluación industrial requeriría más repeticiones e instrumentación especifica.

4.9.2 Validación del sistema de posicionamiento

La comparación se realizó entre el procedimiento manual y el procedimiento asistido con el posicionador. Para interpretar los resultados se consideraron las mismas condiciones generales de prueba: tanque instalado, velocidad de avance definida y control del giro desde el panel. La Tabla 4.11 resume los indicadores usados para comparar la uniformidad, el tiempo de ciclo y la necesidad de retrabajo.

Tabla 4. 11 Comparación de métodos tradicionales y con posicionador de giro

Parámetro	Valor previo	Valor tras mejoras	Variación absoluta	Mejora relativa (%)	Observaciones adicionales
Uniformidad del cordón (%)	75,0 ± 4,5	97,5 ± 1,9	+22,5	+30 %	Reducción del coeficiente de variación de 6 % a 1,9 %; asegura acabados más homogéneos.
Tiempo medio de ciclo (s)	120 ± 8	90 ± 5	−30	−25 %	Disminución en la varianza operativa, optimizando el flujo de trabajo.
Índice Global de Calidad (IGC)	0,82	0,96	+0,14	+17,1 %	Métrica compuesta (uniformidad, retrabajos, rechazo).
Tasa de retrabajos (%)	8,0	2,5	−5,5	−68,8 %	Menor incidencia de defectos, reflejo de mayor control del aporte térmico.



Figura 4. 16 *Proceso de soldado mediante posicionador de giro*

La uniformidad del cordón mejoro con el uso del posicionador, principalmente porque el tanque giro de manera más constante durante la aplicación de la soldadura. Esta condición reduce variaciones del avance manual y facilita que el operario mantenga una trayectoria más regular. El tiempo de ciclo también se redujo porque el equipo evita reposicionamientos frecuentes del tanque. La disminución de retrabajos se asocia con una mejor continuidad del cordón y con la posibilidad de repetir el movimiento de giro bajo condiciones similares. Los porcentajes presentados deben leerse como resultado de las pruebas realizadas en el prototipo, no como un valor universal para todos los procesos de soldadura.

CONCLUCIONES

El análisis del proceso de soldadura GTAW-TIG permitió determinar que la velocidad de avance es una variable relevante para mantener la continuidad y uniformidad del cordón de soldadura. Para velocidades tangenciales comprendidas entre 100 y 180 mm/min y tanques con diámetros entre 700 y 1700 mm, se estableció un rango aproximado de velocidad de giro de 0,02 a 0,08 rpm. Este resultado justificó la necesidad de implementar un sistema de accionamiento capaz de operar de manera estable a bajas velocidades y con regulación continua.

El diseño del posicionador permitió cumplir la capacidad de carga establecida de hasta 300 kg, considerando criterios de resistencia, estabilidad y adaptabilidad dimensional. En el elemento estructural analizado, fabricado en acero ASTM A36, se obtuvo un esfuerzo de 13,95 MPa y un factor de seguridad de 17,92, lo que indica que trabaja dentro del régimen elástico bajo las condiciones de carga consideradas. El valor elevado del factor de seguridad se relaciona con la geometría seleccionada y la disponibilidad de perfiles comerciales utilizados en la fabricación.

La incorporación de módulos de apoyo ajustables, con una separación comprendida entre 400 y 1040 mm, permitió adaptar el sistema a tanques con diámetros entre 700 y 1700 mm y una longitud axial mínima de 0,70 m. La configuración de los elementos de soporte y transmisión facilitó la alineación del tanque y mantuvo su estabilidad durante el movimiento de giro.

La integración del sistema mecánico, el accionamiento y los elementos de control permitió regular la velocidad de rotación y seleccionar el sentido de giro de acuerdo con las condiciones requeridas para la soldadura. Asimismo, el accionamiento mediante pedal y la parada de emergencia facilitaron la operación del equipo, redujeron la necesidad de manipulación directa del tanque y reforzaron las condiciones de seguridad durante su funcionamiento.

Las pruebas funcionales evidenciaron que el posicionador operó de manera estable dentro del rango de carga definido, sin presentar deformaciones permanentes visibles, pérdida de alineación o desplazamientos que comprometieran el funcionamiento de los módulos de apoyo, las ruedas, el eje de transmisión y las chumaceras. En consecuencia, el prototipo cumplió las condiciones funcionales planteadas para el posicionamiento y giro controlado de tanques atmosféricos de hasta 300 kg.

RECOMENDACIONES

Se recomienda elaborar un manual técnico de operación y mantenimiento del posicionador, que incluya el procedimiento de arranque, parada, ajuste de módulos, selección de velocidad, verificación de sentido de giro, uso del pedal y actuación ante emergencias. Este documento permitirá estandarizar el uso del equipo y facilitar su transferencia a operarios con distintos niveles de experiencia.

Se sugiere implementar un plan de mantenimiento preventivo que contemple la inspección periódica de ruedas, chumaceras, poleas, eje de transmisión, elementos de fijación, sistema eléctrico y mecanismo de control de velocidad. La verificación de alineación, limpieza, lubricación y ajuste de componentes debe realizarse con una frecuencia definida según las horas de uso del equipo.

Para conservar la estabilidad del movimiento, se recomienda revisar antes de cada jornada la correcta nivelación del sistema, el estado de la superficie de apoyo, la fijación de los módulos y la distribución de la carga del tanque. Estas verificaciones son necesarias para evitar vibraciones, deslizamientos o esfuerzos no previstos durante el giro.

Se recomienda capacitar a los operarios en el manejo del sistema de control, especialmente en el ajuste de velocidad, accionamiento mediante pedal, cambio de sentido de giro y uso de la parada de emergencia. Una operación adecuada reduce errores, protege los componentes eléctricos y mecánicos, y mejora la seguridad durante el proceso de soldadura.

En futuras mejoras del sistema, se sugiere incorporar sensores de velocidad o un sistema simple de retroalimentación que permita monitorear la rotación real del tanque. Esta mejora ayudaría a aumentar la precisión del avance, registrar parámetros de operación y facilitar procesos de soldadura con mayores requerimientos de repetibilidad.

Finalmente, se recomienda evaluar una versión escalable del posicionador para mayores capacidades de carga o para funciones adicionales, como posicionamiento angular programado, control por pantalla o registro de datos de operación. Estas mejoras podrían ampliar la aplicación del equipo a otros procesos de fabricación, pulido o soldadura rotativa en componentes cilíndricos.

REFERENCIAS

[1] J. T. Esquivias Llerena, *Estudio de los parámetros operativos en el proceso de soldadura GTAW... acero inoxidable 304 para la industria alimentaria*, 2021

[2] H. Cheng, L. Kang, J. Pang, B. Xue, D. Du, and B. Chang, "Effect of the welding position on weld quality when laser welding Inconel 617 Ni-based superalloy," *Optics & Laser Technology*, vol. 139, p. 106962, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.optlastec.2021.106962.

[3] P. A. Vinueza Sandoval, "Análisis mecánico de un posicionador de soldadura para el proceso FCAW," tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, sep. 2017

[4] D. A. Ushiña Loachamín, "Diseño e implementación de un posicionador horizontal y circular para soldadura MIG en la empresa Indima S.A.," tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2019.

[5] D. W. Figueirôa, I. O. Pigozzo, R. H. Gonçalves e Silva, T. F. de Abreu Santos y S. L. Urtiga Filho, "Influence of welding position and parameters in orbital TIG welding applied to low-carbon steel pipes," Welding International, vol. 31, no. 8, pp. 583–590, 2017, doi: 10.1080/09507116.2016.1218615.

[6] P. Cegielski, D. Golański, P. Kołodziejczak, A. Kolasa, D. Rochalski y T. Sarnowski, "Advanced Design and Verification of Tracks and Welding Positioners – External Axes of Robots," Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, no. 5, 2018, doi: 10.17729/ebis.2018.5/24.

[7] KEYENCE CORPORATION, "Conceptos básicos de la soldadura automatizada," 2023.

[8] P. Molera Sola, Soldadura industrial: clases y aplicaciones, Marcombo., vol. 56. 1992.

[9] G. Romaní Labanda, *Desarrollo de un sistema interactivo... soldadura robotizada MIG/MAG y TIG*, 2005

[10] G. T. ARC, "Guidelines for Gas Tungsten Arc Welding GTAW."

[11] M. A. Wahab, “Manual Metal Arc Welding and Gas Metal Arc Welding,” in *Comprehensive Materials Processing*, Elsevier, 2014, pp. 49–76, doi: 10.1016/B978-008-096532-1.00610-5.

[12] J. Castro, F. Espinel, and P. Castro-Verdezoto, “Análisis Comparativo en los Procesos de Soldadura en la Industria Naval: Caso Experimental de Soldadura por Arco Eléctrico SMAW, GMAW, GTAW y FCAW,” *Causalidad - Automatización e Ingeniería Informática en la Industria*, vol. 1, no. 1, pp. 12–39, Jan. 2025, doi: 10.70929/caui3.v1i1.1zazzp73.

[13] I. Ul Haq, F. Felicetti, D. L. Carnì, and F. Lamonaca, “Advancements in robotic positioning: A comprehensive review of measurement methods and systems,” *Measurement: Sensors*, vol. 45, p. 102000, 2026, doi: **10.1016/j.measen.2026.102000**.

[14] Jucat Oy, “Workpiece Positioners,” Finland. Esta fuente reporta mejoras de eficiencia de al menos 30 % mediante el uso de posicionadores y ciclos programables.

[15] PrestonEastin, “2-Axis Welding Positioners,” ficha técnica de posicionadores de soldadura, con capacidades de 100 a 24 000 lb y velocidades variables de rotación.

[16] International Organization for Standardization, *ISO 6947:2019, Welding and allied processes — Welding positions*, 4th ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2019.

[17] W. Soule, “Weld Positioners Improve Productivity and Quality,” *Mechanical Contractors Association of America*, 2013.

[18] American Welding Society, *AWS A3.0M/A3.0:2025, Standard Welding Terms and Definitions*. Miami, FL, USA: AWS, 2025. La norma contempla rotación continua o incremental en posiciones de soldadura de tubería.

[19] J. R. Deepak, M. Prasanna Kumar, and M. Nithishkar, “Review on temperature monitoring system for welding application – A case study on thermocouple array,” *Materials Today: Proceedings*, 2023, doi: **10.1016/j.matpr.2023.02.373**

[20] M. Gašová, M. Gašo y A. Štefánik, “Advanced Industrial Tools of Ergonomics Based on Industry 4.0 Concept,” *Procedia Engineering*, vol. 192, pp. 219–224, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.06.038.

[21] Occupational Safety and Health Administration, “Prefabrication — Welding: Ergonomics,” U.S. Department of Labor. La guía recomienda mesas de altura regulable, dispositivos de posicionamiento y soportes rotatorios para reducir posturas forzadas durante la soldadura.

[22] SKF, “FYJ 25 TF – Flanged ball bearing unit,” *SKF Product Catalogue*, SKF Group

[23] International Organization for Standardization, *ISO 11226:2000, Ergonomics — Evaluation of static working postures*. Geneva, Switzerland: ISO, 2000.

[24] ASM International, *ASM Handbook, Volume 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*, 10th ed. Materials Park, OH, USA: ASM International, 1990.

[25] ASTM International, *ASTM A240/A240M, Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International.

[26] International Molybdenum Association, *Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steels*, 3rd ed. London, UK: IMOA, 2014, ISBN 978-1-907470-09-7.

[27] ASTM International, *ASTM B209/B209M, Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2021.

[28] M. F. Ashby, *Materials Selection in Mechanical Design*, 5th ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2016.

[29] Import Aceros, “Catálogo de productos de acero estructural y acero inoxidable,” Quito, Ecuador. El proveedor comercializa localmente aceros ASTM A36, ASTM A572 Gr. 50 y aceros inoxidables 304/316, por lo que corresponde a tu apartado de disponibilidad y comparación de proveedores nacionales.

ANEXOS:

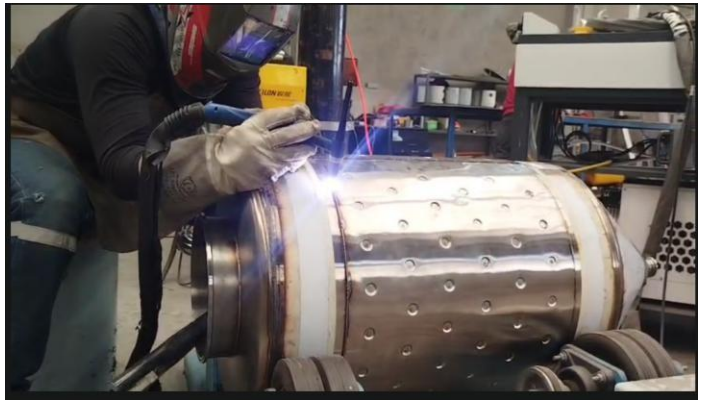
Anexo A. Proceso de posicionamiento de tanque de 2000 L con soporte durante la primera prueba dimensional.



Anexo B. Proceso de pulido y soldadura en marmita de 300 L.



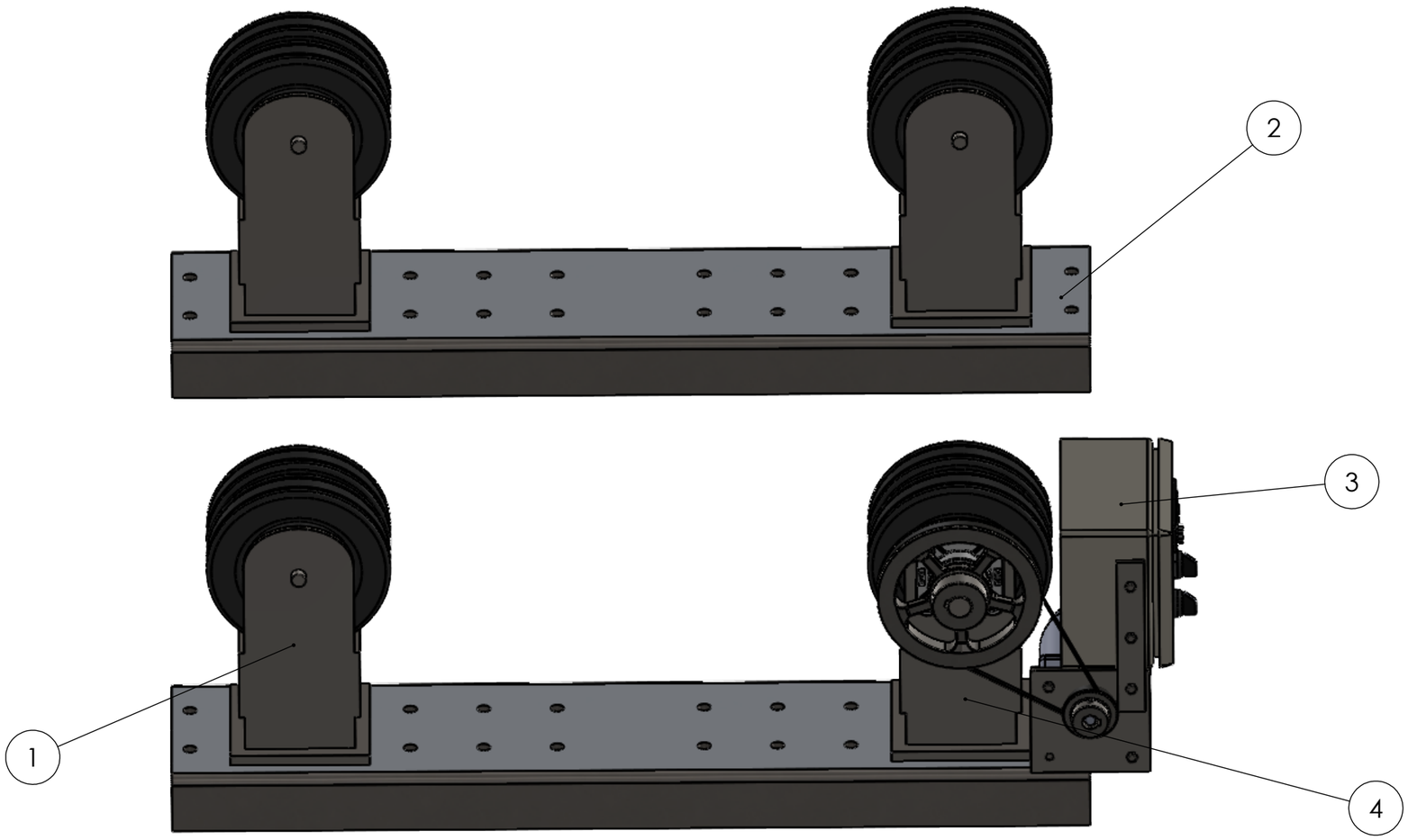
Anexo C. Proceso de soldadura TIG en fermentador para cerveza y vino.



Anexo D. Proceso de pulido mediante grata en tanque de 500 L.



Anexo E. Planos del sistema posicionador de giro horizontal.



N.º	Denominación	MATERIAL	ZONA	CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION
4	MÓDULO MOTRIZ	ASTM 36	C4	1	PGA-04-00-00-00	
3	TABLERO	PLÁSTICO	D3	1	PGA-03-00-00-00	
2	MECANISMO DE REGULACIÓN	ASTM 36	E4	2	PGA-02-00-00-00	
1	MODULO DE APOYO	ASTM 36	C6	3	PGA-01-00-00-00	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
UTN
IBARRA - ECUADOR

FICA | CIME

PROYECTO: POSICIONADOR DE GIRO PARA TANQUES ATMOSFERICOS

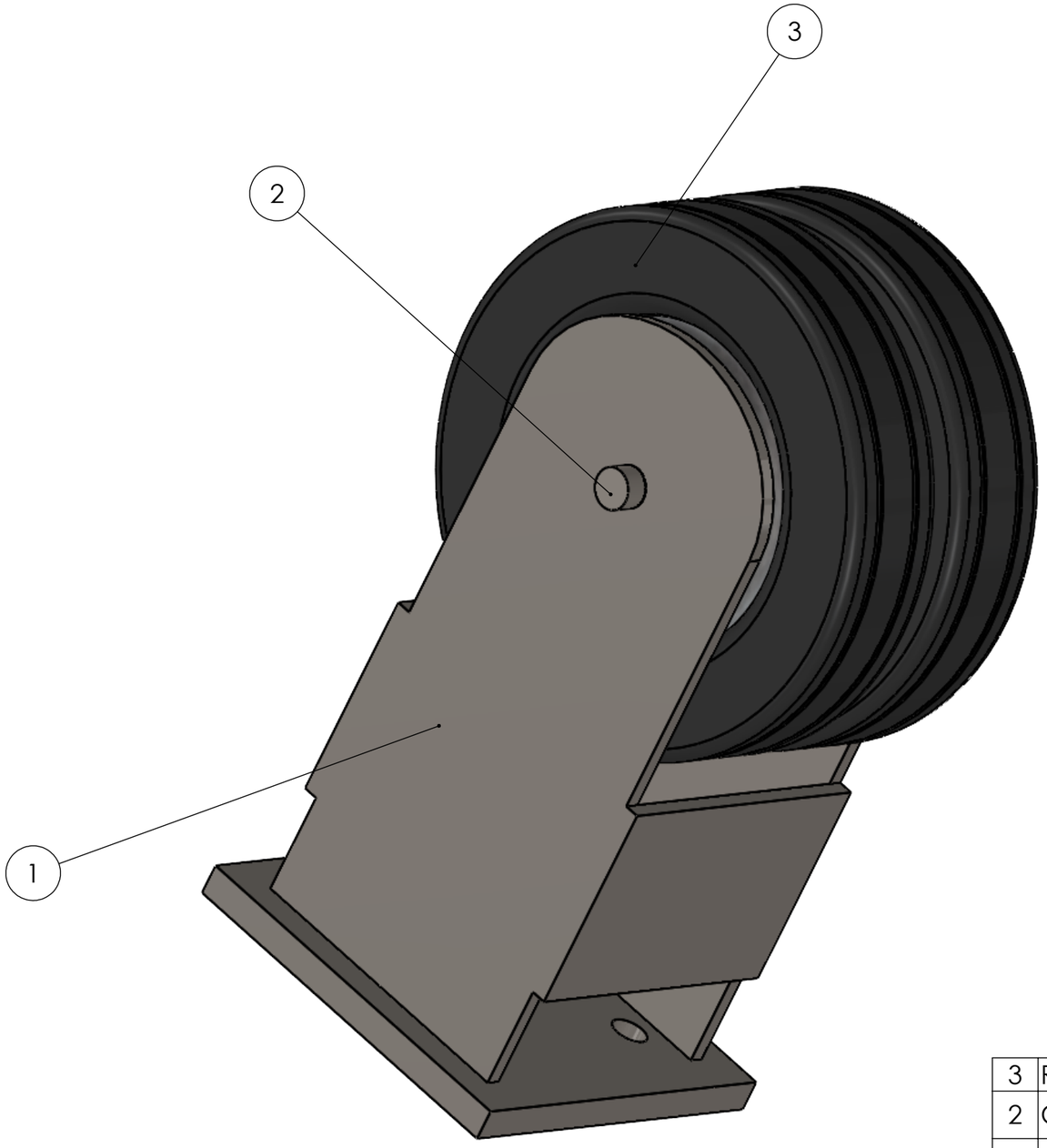
CONJUNTO: POSICIONADOR DE GIRO

CÓDIGO: PGA-00-00-00-00

ESCALA 1:4

PESO	**35 KG**	DISEÑÓ	ORTEGA D.	19/05/2026
LARGO	1100 mm	DIBUJÓ	ORTEGA D.	19/05/2026
ANCHO	1000 mm	REVISÓ	VALENCIA F.	19/05/2026
ALTO	400 mm	APROVÓ	ERAZO V.	19/05/2026

HOJA A3 1/1



N.º	Denominación	MATERIAL	ZONA	CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION
3	RUEDA	PLÁSTICO	E5	4		SKU-462861
2	CHUMACERA	ASTM A36	D6	3	PGA-01-02-00-00	
1	SOPORTE TABLERO	ASTM A36	C6	3	PGA-01-01-00-00	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
IBARRA - ECUADOR

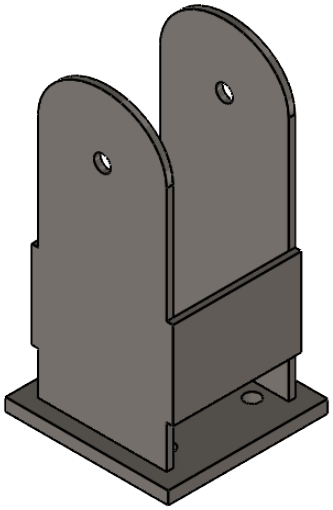
FICA | CIME

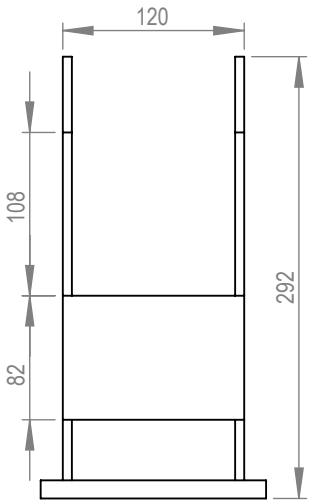
PROYECTO: POSICIONADOR DE GIRO PARA TANQUES ATMOSFERICOS
CONJUNTO: MODULO DE APOYO
CÓDIGO: PGA-01-00-00-00

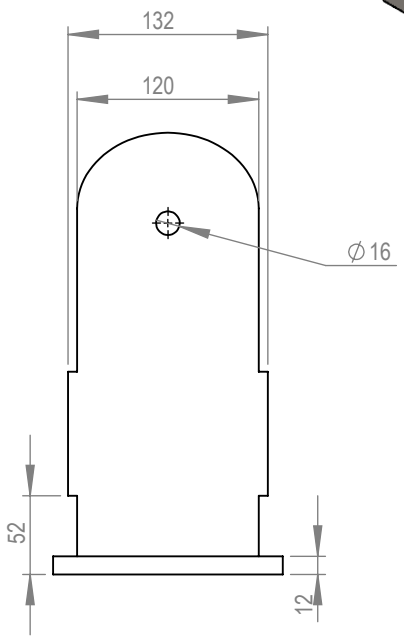
ESCALA 1:2

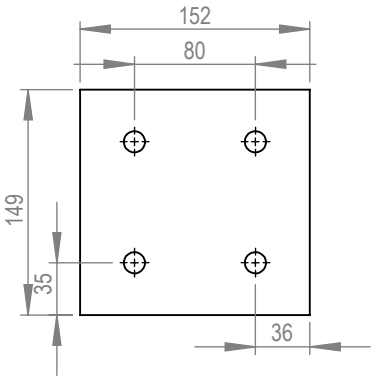
PESO	7KG	DISEÑÓ	ORTEGA D.	19/05/2026
LARGO	120 mm	DIBUJÓ	ORTEGA D.	19/05/2026
ANCHO	155 mm	REVISÓ	VALENCIA F.	19/05/2026
ALTO	234 mm	APROVÓ	ERAZO V.	19/05/2026

HOJA A3 1/1



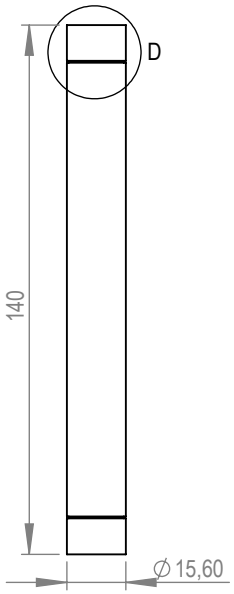


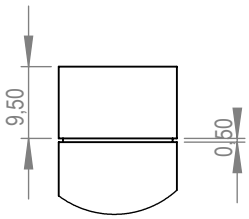




UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	PROYECTO: POSICIONADOR DE GIRO PARA TANQUES				ESCALA 1:5	
	PARTE: SOPORTE					
	CÓDIGO: PGA-01-01-00-00				TOLERANCIA: ±	
	MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑÓ:	ORTEGA D.	19/05/2026	HOJA
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	ORTEGA D.	19/06/2026	A4
FICA / CIME	RECUBRIMIENTO:	PINTURA	REVISÓ:	VALENCIA F.	19/05/2026	1/1
	CANTIDAD:	3	APROVÓ:	ERAZO V.	19/05/2026	

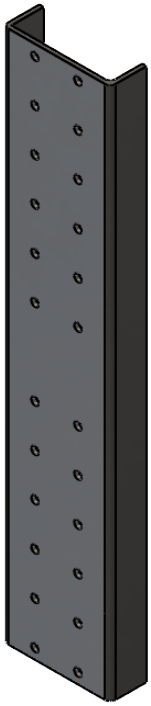


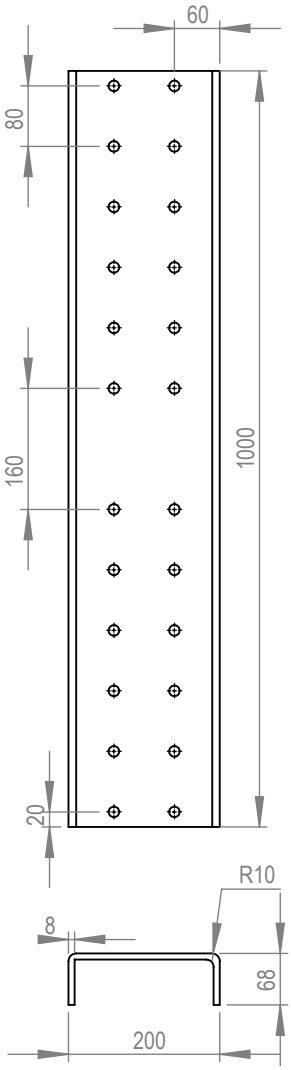




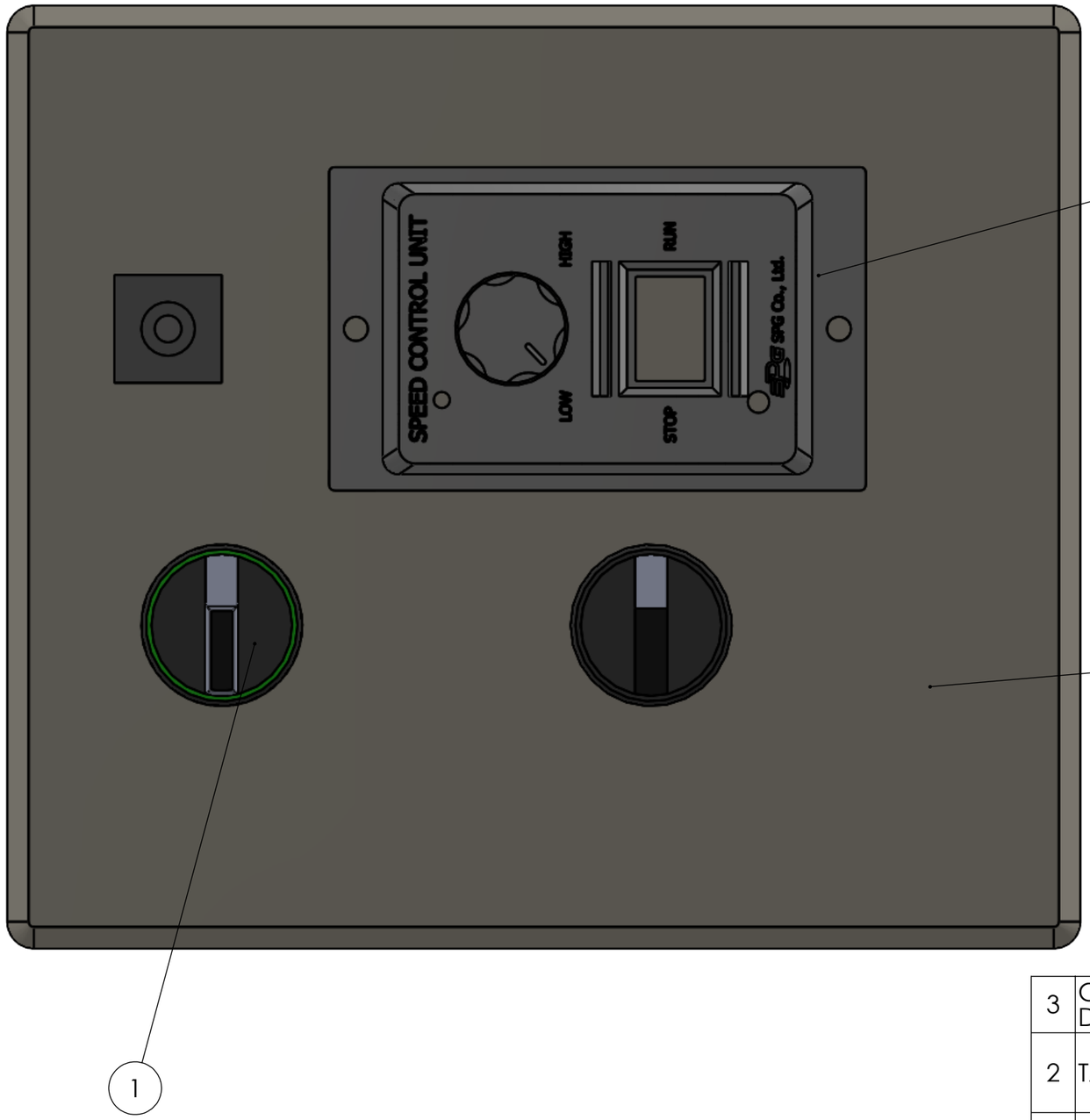
DETALLE D
ESCALA 1 : 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	PROYECTO: POSICIONADOR DE GIRO PARA TANQUES				ESCALA 1:2	
	PARTE: EJE					
	CÓDIGO: PGA-01-02-00-00				TOLERANCIA: ±	
	MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑÓ:	ORTEGA D.	19/05/2026	HOJA
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	ORTEGA D.	19/06/2026	A4
FICA / CIME	RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	VALENCIA F.	19/05/2026	1/1
	CANTIDAD:	3	APROVÓ:	ERAZO V.	19/05/2026	





UTN CIME	PROYECTO: POSICIONADOR DE GIRO PARA TANQUES				ESCALA 1:10	
	PARTE: MECANISMO DE REGULACIÓN					
	CÓDIGO: PGA-02-00-00-00				TOLERANCIA: ±	
	MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	ORTEGA D.	19/05/2026	HOJA 1/1
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	ORTEGA D.	19/05/2026	
	RECUBRIMIENTO:	PINTURA	REVISÓ:	VALENCIA F.	19/05/2026	A4
	CANTIDAD:	2	APROBÓ:	ERAZO V.	19/05/2026	



3	CONTROLADOR DE VELOCIDAD	COMERCIAL	E6	1		207288068
2	TABLERO	PLÁSTICO	D5	1		NSYCRN22150
1	SELECTOR DOBLE	COMERCIAL	D7	2		XB4BD21
N.º	Denominación	MATERIAL	ZONA	CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
UTN
IBARRA - ECUADOR

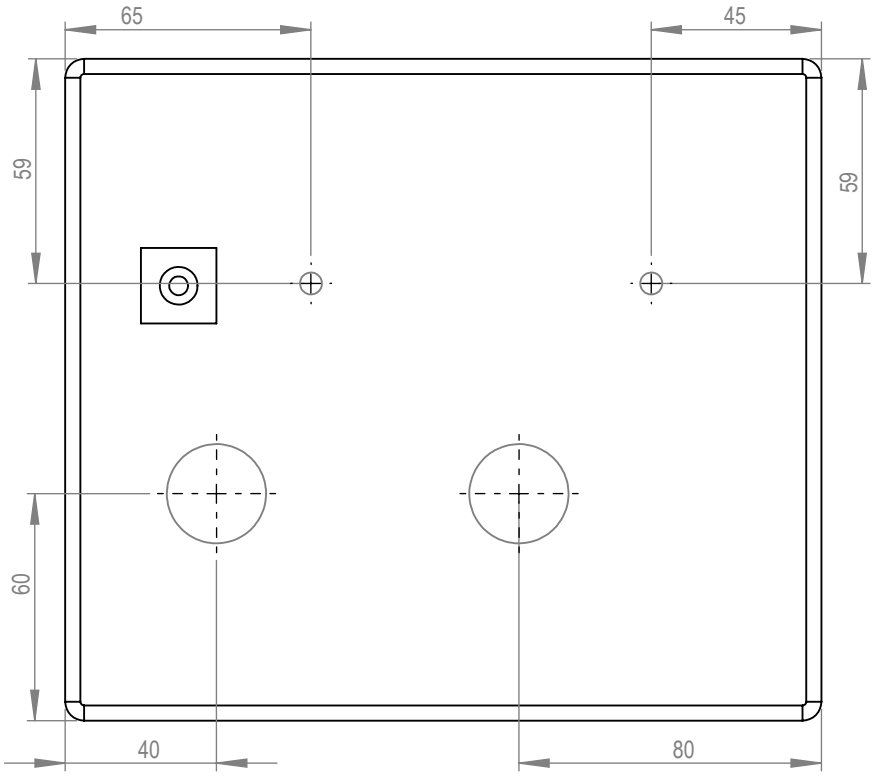
FICA | CIME

PROYECTO: POSICIONADOR DE GIRO PARA TANQUES ATMOSFERICOS
CONJUNTO: TABLERO
CÓDIGO: PGA-03-00-00-00

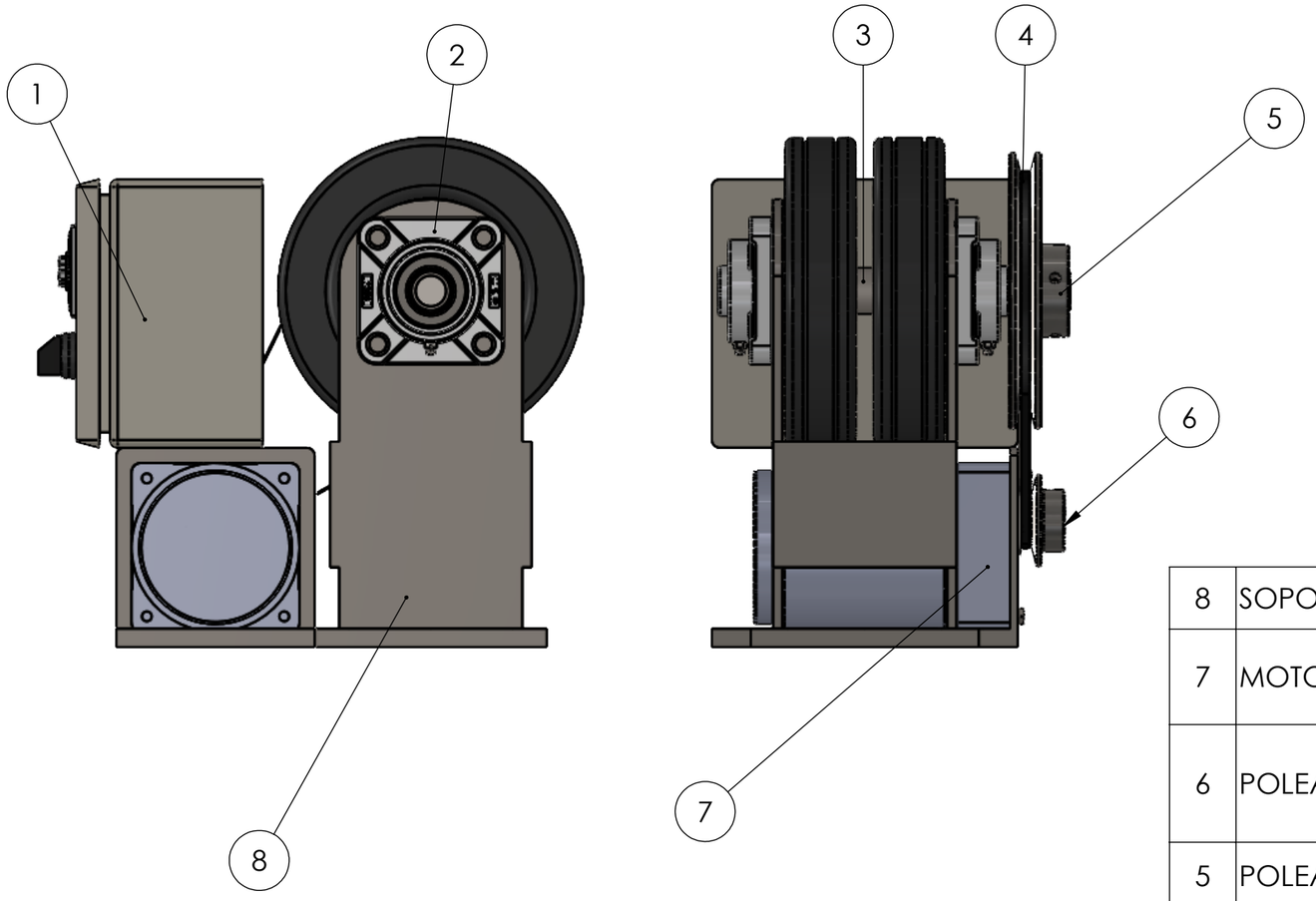
ESCALA 1:4

PESO	8KG	DISEÑÓ	ORTEGA D.	19/05/2026
LARGO	330 mm	DIBUJÓ	ORTEGA D.	19/05/2026
ANCHO	155 mm	REVISÓ	VALENCIA F.	19/05/2026
ALTO	234 mm	APROVÓ	ERAZO V.	19/05/2026

HOJA A3 1/1



UTN CIME	PROYECTO: POSICIONADOR DE GIRO PARA TANQUES				ESCALA 1:5	
	PARTE: TABLERO					
	CÓDIGO: PGA-03-00-00-00				TOLERANCIA: ±	
	MATERIAL:	PLÁSTICO	DISEÑO:	ORTEGA D.	19/05/2026	HOJA 1/1
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	ORTEGA D.	19/05/2026	
	RECUBRIMIENTO:	NINGINO	REVISÓ:	VALENCIA F.	19/05/2026	A4
	CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ERAZO V.	19/05/2026	



N.º	Denominación	MATERIAL	ZONA	CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION
8	SOPORTE 2	ASTM A36	D7	1	PGA-03-03-00-00	
7	MOTOR	HIERRO	D5	1		100YT140WGY 22-6GU95K
6	POLEA PEQUEÑA	ALUMINIO	D5	1		POLEA 2 1/2 IN
5	POLEA GRANDE	ALUMINIO	E5	1		POLEA DE 5 IN
4	BANDA	CAUCHO	E5	1		BANDA DE 5 IN A32
3	EJE 2	EJE DE TRANSMISION	E5	1	PGA-03-02-00-00	
2	CHUMACERA	HIERRO	E7	2		FY 25 TF
1	SOPORTE TABLERO	HIERRO	E8	1	PGA-03-01-00-00	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
IBARRA - ECUADOR

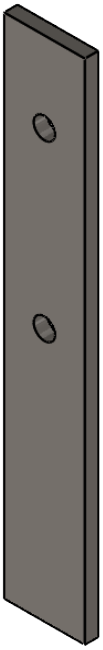
FICA | CIME

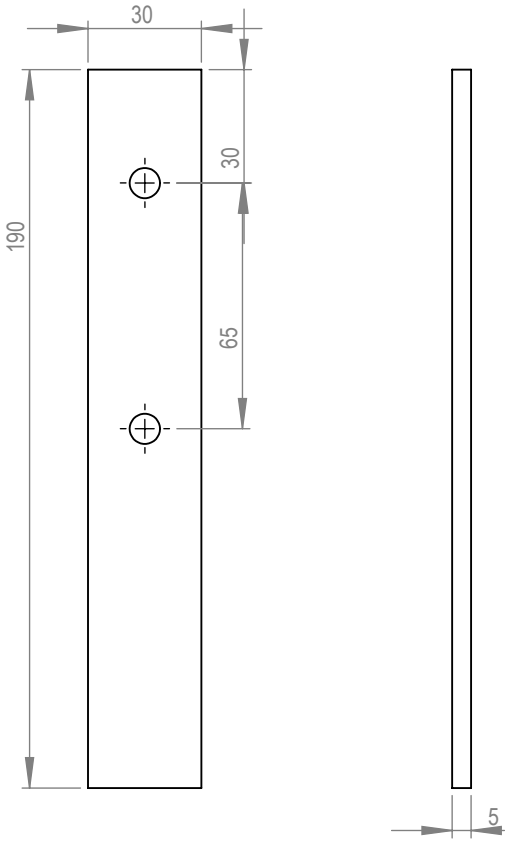
PROYECTO: POSICIONADOR DE GIRO PARA TANQUES ATMOSFERICOS
CONJUNTO: MODULADOR MOTRIZ
CÓDIGO: PGA-04-00-00-00

ESCALA 1:4

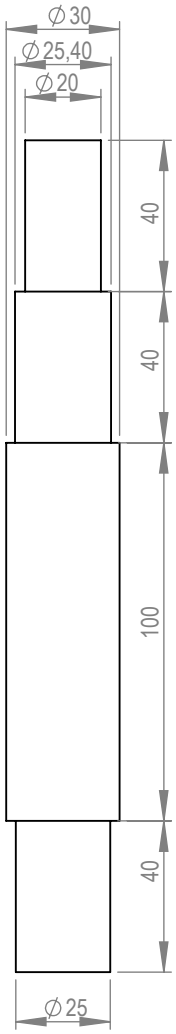
PESO	**8KG**	DISEÑÓ	ORTEGA D.	19/05/2026
LARGO	330 mm	DIBUJÓ	ORTEGA D.	19/05/2026
ANCHO	155 mm	REVISÓ	VALENCIA F.	19/05/2026
ALTO	234 mm	APROVÓ	ERAZO V.	19/05/2026

HOJA A3 1/1



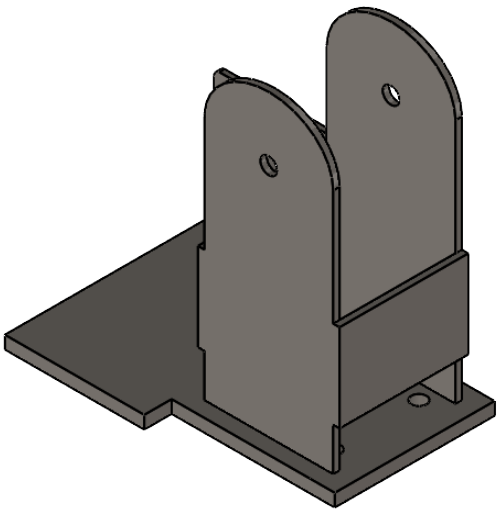


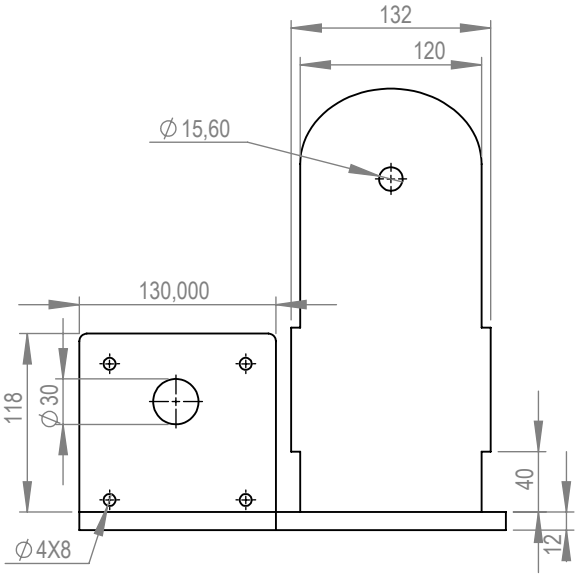
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	PROYECTO: POSICIONADOR DE GIRO PARA TANQUES				ESCALA 1:2	
	PARTE: SOPORTE TABLERO					
	CÓDIGO: PGA-03-03-00-00				TOLERANCIA: ±	
	MATERIAL:	HIERRO	DISEÑÓ:	ORTEGA D.	19/05/2026	HOJA
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	ORTEGA D.	19/06/2026	A4
FICA / CIME	RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	VALENCIA F.	19/05/2026	1/1
	CANTIDAD:	3	APROVÓ:	ERAZO V.	19/05/2026	

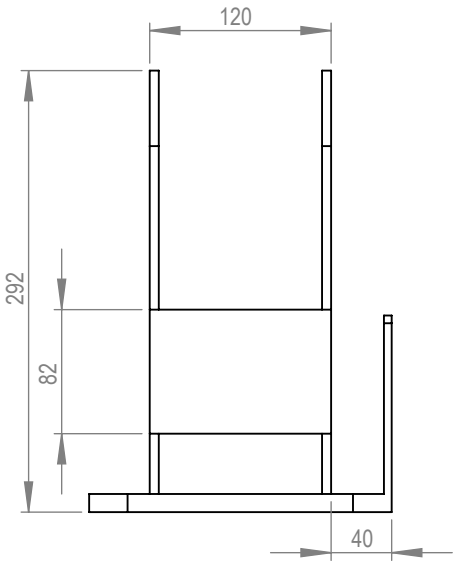


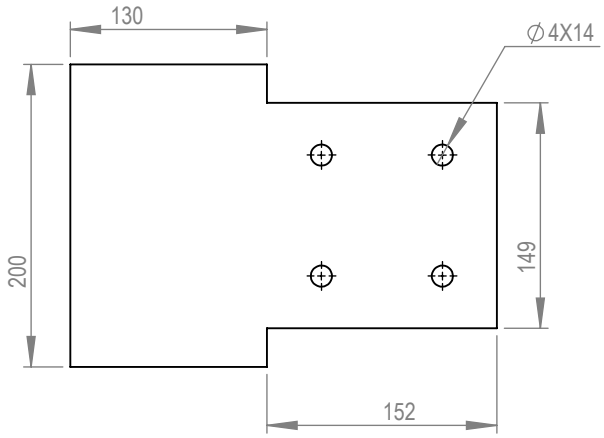


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	PROYECTO: POSICIONADOR DE GIRO PARA TANQUES				ESCALA 1:5	
	PARTE: EJE 2					
	CÓDIGO: PGA-03-02-00-00				TOLERANCIA: ±	
	MATERIAL:	EJE DE TRANSMICIÓN	DISEÑÓ:	ORTEGA D.	19/05/2026	HOJA
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	ORTEGA D.	19/06/2026	A4
FICA / CIME	RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	VALENCIA F.	19/05/2026	1/1
	CANTIDAD:	1	APROVÓ:	ERAZO V.	19/05/2026	









UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	PROYECTO: POSICIONADOR DE GIRO PARA TANQUES				ESCALA 1:2	
	PARTE: SOPORTE 2					
	CÓDIGO: PGA-03-03-00-00				TOLERANCIA: ±	
	MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑÓ:	ORTEGA D.	19/05/2026	HOJA
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	ORTEGA D.	19/06/2026	A4
FICA CIME	RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	VALENCIA F.	19/05/2026	1/1
	CANTIDAD:	3	APROVÓ:	ERAZO V.	19/05/2026	