ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO PARA AUTOMATIZAR EL PROCESO DE SOLDADURA GAS METAL ARC WELDING (GMAW)

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

MERA GONZÁLEZ LEONARDO XAVIER

leonardo.mera@epn.edu.ec

OBANDO FREIRE CARLOS IVÁN

carlos.obando@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. GUACHAMÍN ACERO WILSON IVÁN, Ph.D.

wilson.guachamin@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. BARRAGÁN CAMPOS HOMERO GALO, M.Sc.

homero.barragan@epn.edu.ec

Quito, mayo 2019

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Mera González Leonardo Xavier y Obando Freire Carlos Iván** bajo mi supervisión.

Ing. Guachamín Acero Wilson Iván, Ph.D.

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Barragán Campos Homero Galo, M.Sc.

CODIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, **Mera González Leonardo Xavier y Obando Freire Carlos Iván** declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que me he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Mera González Leonardo Xavier

Obando Freire Carlos Iván

DEDICATORIA

A mis padres Leonardo Mera y Cristina González,

quienes a lo largo de mi vida han sido pilar fundamental en mi formación académica además de siempre velar por mi bienestar y felicidad.

A todos mis herman@s,

quienes de forma directa o indirecta me ayudaron a culminar este objetivo.

A mi novia Diana,

quien ha sido mi compañera inseparable de fallos y aciertos en todos estos años.

Leo Mera

A Dios,

por haberme dado la salud y la vida para terminar esta etapa universitaria.

A mi familia,

por todo su amor y confianza y por ser mi aliento en cada paso de mi vida.

A Sandy,

por ser mí apoyo en los momentos más difíciles.

Carlos Obando

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme salud, claridad y fuerza en cada paso de mi vida.

A mis padres, por el apoyo incondicional y comprensión que me brindan día a día, ya que todo lo que soy se lo debo a ellos.

A mis mejores amigos Marenque y Diana, por comprenderme y contar con su ayuda cuando más lo necesito.

A los Ingenieros Wilson Guachamín, Homero Barragán y Gabriel Velasteguí por la guía y ayuda brindada a lo largo del proyecto.

A Carlos por ser un excelente compañero y gran apoyo en la realización de este proyecto, y a todos mis amig@s de la gloriosa FIM quienes compartieron tiempo valioso en el transcurso de toda mi carrera.

Leo Mera

A mis padres, por su apoyo y concejos, por ser las personas que me hacen sentir fuerte. A mi padre Iván quién con su ejemplo y sabiduría me ha enseñado las cosas verdaderamente importantes de la vida. A mi madre Lucia por su amor, sacrificio y sus oraciones que me han ayudado a alcanzar mis metas.

A Sandy mi confidente y amiga, por haberme acompañado en toda mi carrera universitaria y apoyado con paciencia y cariño, y a quien jamás podré pagarle lo que hizo por mí.

A mis hermanos por haberme ayudado a crecer y formarme como una persona de bien y con quienes siempre podré contar.

Agradezco a los ingenieros el Dr. Wilson Guachamín el Ing. Homero Barragán y el Ing. Gabriel Velasteguí, por los conocimientos impartidos que permitieron la culminación del presente trabajo.

A mi compañero Leo, por su excelente trabajo, disposición y tiempo invertido para finalizar nuestro proyecto. Y a todos mis amigos, por su compañerismo, amistad y apoyo a lo largo de la carrera universitaria

Carlos Obando

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN……...……...i
DECLARACIÓN...……..……...ii
DEDICATORIA……..…iii
AGRADECIMIENTO ...……..……..iv
ÍNDICE v
ÍNDICE DE FIGURAS viii
ÍNDICE DE TABLAS x
RESUMEN.....xii
ABSTRACT..... xiii
INTRODUCCIÓN..... 1
Objetivo general 2
Objetivos específicos..... 2
1. MARCO TEÓRICO 3
1.1. Proceso de soldadura GMAW 3
1.1.1. Equipo 3
1.2. Variables principales del proceso GMAW 5
1.2.1. Corriente de soldadura 5
1.2.2. Voltaje de soldadura 6
1.2.3. Velocidad de Avance 6
1.2.4. Longitud libre del electrodo (Stickout)..... 7
1.2.5. Ángulo de desplazamiento..... 7
1.3. Fuente de alimentación 8
1.4. Métodos de transferencia de material de aporte..... 8
1.5. Posiciones de soldadura..... 10
1.6. Sistemas de transmisión mecánicos..... 10
1.6.1. Transmisión mediante correas..... 10
1.6.2. Transmisión mediante cadenas 11
1.6.3. Transmisión mediante engranajes..... 11
1.7. Sistemas de control mediante microcontroladores 14
1.7.1. Microcontrolador STM32..... 14
1.7.2. Arduino 15
1.7.3. Microcontrolador Raspberry Pi 15

1.8. Equipos para automatización de procesos de soldadura utilizados en la industria 16
1.8.1. Carro soldador Koike IK-72W 16
1.8.2. Carro de soldadura magnético 17
1.8.3. Rail Runner II Carro de soldadura y corte modular 17
1.8.4. Carro de soldadura DRAGON 18
1.8.5. Carro de soldadura Fronius 18
2. METODOLOGÍA 19
2.1. General 19
2.2. Estudio de alternativas 21
2.2.1. Voz del usuario y voz del Ingeniero 21
2.2.2. Casa de la calidad 22
2.2.3. Especificaciones técnicas 24
2.2.4. Análisis funcional 25
2.3. Selección de alternativas para cada módulo 27
2.3.1. Módulo 1.- Sistema de sujeción 27
2.3.2. Módulo 2.- Sistema de avance lineal. 33
2.3.3. Módulo 3.- Sistema de movimiento transversal de la torcha 38
2.3.4.Solución general del mecanismo 45
2.4. Diseño de elementos mecánicos 45
2.4.1. Diseño de engranes 45
2.4.2. Selección de rodamiento 56
2.5. Diseño del sistema de control 61
2.6. Construcción 64
2.6.1. Elaboración de planos 64
2.6.2. Construcción del sistema de sujeción 65
2.6.3. Construcción del sistema de avance lineal 67
2.6.4. Construcción del sistema para movimiento transversal de la torcha 69
2.6.5. Construcción de la base para montar las probetas 73
2.6.6. Costos 74
2.7. Pruebas 80
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 82
3.1. Dimensiones del equipo 82
3.2. Placas para la calibración del equipo 83
3.3. Placas finales 84
3.4. Discusión de Costos 86

4. CONCLUSIONES 87
4.1. Conclusiones 87
4.2. Recomendaciones 88
Referencias Bibliográficas 89
Anexos 91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Equipo básico de soldadura GMAW..... 4
Figura 1. 2: Componentes de torcha en el proceso GMAW. 4
Figura 1. 3: Corrientes de soldadura típicas vs velocidad de alimentación del alambre. ... 5
Figura 1. 4: Longitud libre del electrodo (Stick out). 7
Figura 1. 5: Ángulo de desplazamiento..... 8
Figura 1. 6: a) Transferencia spray, b) Transferencia globular, c) Transferencia por cortocircuito. 9
Figura 1. 7: Proceso de transferencia por cortocircuito y presencia de fuerza P. 9
Figura 1. 8: Posiciones de soldadura: Plana (1G), vertical (3G).....10
Figura 1. 9: Tipos de correas de transmisión de potencia: (a) trapezoidal, (b) plana, (c) redonda, (d) acanalada,(e) dentada.....11
Figura 1. 10: Transmisión de potencia mediante cadena múltiple.....11
Figura 1. 11: Nomenclatura de un engranaje. 12
Figura 1. 12: Velocidad de avance en sistema piñón cremallera.....13
Figura 1. 13: Modelo de STM32 Núcleo F401RE.....15
Figura 1. 14: Modelo Arduino UNO R3. 15
Figura 1. 15: Modelo de la plataforma Raspberry Pi. 16
Figura 1. 16: Carro para automatización de procesos de soldadura guiado con riel. Modelo: Koike. IK-72W. 16
Figura 1. 17: Carro de soldadura automática magnético.....17
Figura 1. 18: Carro de soldadura y corte modular Rail Runner II. 17
Figura 1. 19: Equipo de soldadura y corte con carril-guía. 18
Figura 1. 20: Carro de soldadura magnético Fronius. 18
Figura 2. 1: Metodología para el diseño y construcción del mecanismo para automatizar el proceso GMAW. 20
Figura 2. 2: Diagrama general, nivel 0. 26
Figura 2. 3: Módulos del mecanismo. 27
Figura 2. 4: Carro soldador magnético.....28
Figura 2. 5: Sistema de riel guía 28
Figura 2. 6: Sistema piñón-cremallera de dientes rectos.....33
Figura 2. 7: Llanta de caucho sin cámara de aire.....34
Figura 2. 8: Cilindro hidráulico. 39
Figura 2. 9: Cilindro neumático de movimiento lineal. 39
Figura 2. 10: Sistema de brazo con cremallera y servo motor.....40
Figura 2. 11: Esquema del carro soldador automático para proceso GMAW. 45
Figura 2. 12: Cremallera acoplada a un piñón.....46
Figura 2. 13: Diagrama de cuerpo libre del engrane. 48
Figura 2. 14: Vista en plano x-y del mecanismo con fuerzas aplicadas.....57
Figura 2. 15: Diagrama de mecanismo plano z-y. 58
Figura 2. 16: Esquema de fuerzas equivalentes para momento con unitario k.....59
Figura 2. 17: Esquema de fuerzas equivalentes para el momento con unitario i. 60
Figura 2. 18: Esquema de dimensiones de rodamiento. 60
Figura 2. 19: Esquema del circuito de control para desplazamiento de la torcha. 63
Figura 2. 20: Detalle de circuito de control. 64
Figura 2. 21: Sistema de sujeción del mecanismo y sus componentes. 65
Figura 2. 22: Guías para la sujeción del mecanismo.....66
Figura 2. 23: Perfil del sistema de anclaje de guías. 66
Figura 2. 24: Esquema del eje para la rueda del sistema de sujeción.....67

Figura 2. 25: Rueda del sistema de sujeción. 67
Figura 2. 26: Sistema de avance lineal del mecanismo y sus componentes. 68
Figura 2. 27: Cremalleras del sistema de anclaje de guías. 68
Figura 2. 28: Engranaje del sistema de avance lineal. 69
Figura 2. 29: Bocín del sistema de avance lineal. 69
Figura 2. 30: Sistema de movimiento transversal de la torcha y sus componentes. 70
Figura 2. 31: Acople para servomotor del sistema de movimiento transversal de la torcha 70
Figura 2. 32: Brazo para sujeción de torcha. 71
Figura 2. 33: Diseño de la placa de control. 71
Figura 2. 34: Placa electrónica para el sistema de control del movimiento transversal de la torcha. 72
Figura 2. 35: Diseño del mando de control para la impresión 3D. 72
Figura 2. 36: Proceso de impresión 3D y mando de control terminado. 73
Figura 2. 37: Base para montar las probetas en posición vertical. 73
Figura 2. 38: Esquema explicativo de realización de pruebas 81
Figura 3. 1: Dimensiones finales del mecanismo. 82
Figura 3. 2: Penetración del pase raíz. 86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: Principales fórmulas para el cálculo de esfuerzo de flexión y de contacto en engranajes. 14
Tabla 2. 1: Puntos de importancia en la demanda del usuario. 22
Tabla 2. 2: Detalle de características técnicas 23
Tabla 2. 3: Especificaciones técnicas del carro soldador automático. 24
Tabla 2. 4: Simbología según norma VDI 2222. 26
Tabla 2. 5: Evaluación de criterios para la selección de alternativas del módulo 1. 30
Tabla 2. 6: Evaluación de las alternativas en función del criterio de fácil fabricación 30
Tabla 2. 7: Evaluación de las alternativas en función del criterio de seguridad 31
Tabla 2. 8: Evaluación de las alternativas en función del criterio de fácil montaje. 31
Tabla 2. 9: Evaluación de las alternativas en función del criterio de estabilidad. 31
Tabla 2. 10: Evaluación de las alternativas en función del criterio de costo. 32
Tabla 2. 11: Evaluación de las alternativas en función del criterio de adaptabilidad. 32
Tabla 2. 12: Conclusiones de las alternativas para el módulo 2. 33
Tabla 2. 13: Evaluación de criterios para la selección de alternativas del módulo 2. 35
Tabla 2. 14: Evaluación de las alternativas en función del criterio de fácil fabricación. 36
Tabla 2. 15: Evaluación de las alternativas en función del criterio de seguridad. 36
Tabla 2. 16: Evaluación de las alternativas en función del criterio de fácil montaje. 36
Tabla 2. 17: Evaluación de las alternativas en función del criterio de tracción. 37
Tabla 2. 18: Evaluación de las alternativas en función del criterio de costo. 37
Tabla 2. 19: Evaluación de las alternativas en función del criterio de durabilidad. 38
Tabla 2. 20: Conclusiones de las alternativas para el módulo 1. 38
Tabla 2. 21: Evaluación de criterios para la selección de alternativas del módulo 3. 41
Tabla 2. 22: Evaluación de las alternativas en función del criterio de fácil fabricación. 42
Tabla 2. 23: Evaluación de las alternativas en función del criterio de fácil control. 42
Tabla 2. 24: Evaluación de las alternativas en función del criterio de fácil montaje. 43
Tabla 2. 25: Evaluación de las alternativas en función del criterio de precisión. 43
Tabla 2. 26: Evaluación de las alternativas en función del criterio de costo. 43
Tabla 2. 27: Evaluación de las alternativas en función del criterio de consumo de energía. 44
Tabla 2. 28: Conclusiones de las alternativas para el módulo 3. 44
Tabla 2. 29: Tabla de fuerzas aplicadas al mecanismo. 56
Tabla 2. 30: Características de rodamiento seleccionado. 61
Tabla 2. 31: Elementos utilizados para la elaboración del circuito. 62
Tabla 2. 32: Elementos a construirse para el sistema de sujeción. 65
Tabla 2. 33: Elementos a construirse para el sistema de avance lineal. 68
Tabla 2. 34: Elementos del sistema para movimiento transversal de la torcha. 70
Tabla 2. 35: Costo de elementos normalizados utilizados para construcción del mecanismo. 74
Tabla 2. 36: Costos de elementos electrónicos normalizados para el control del mecanismo. 75
Tabla 2. 37: Costo de materiales utilizados para la construcción del sistema de anclaje de guías. 75
Tabla 2. 38: Costo de mano de obra para la construcción del sistema de anclaje de guías. 76
Tabla 2. 39: Costo de materiales utilizados para la construcción del sistema de avance. 76
Tabla 2. 40: Costo de mano de obra para la construcción del sistema de avance. 76

Tabla 2. 41: Costo de materiales utilizados para la construcción del sistema de sujeción. 77
Tabla 2. 42: Costo de mano de obra para la construcción del sistema de sujeción.....77
Tabla 2. 43: Costo de materiales utilizados para la construcción del sistema de movimiento transversal de la torcha.....78
Tabla 2. 44: Costo de mano de obra para la construcción del sistema de movimiento trasversal de la torcha.....78
Tabla 2. 45: Costo de materiales para la construcción del sistema de sujeción de probetas.....79
Tabla 2. 46: Costo de mano de obra para construcción del sistema de sujeción. 79
Tabla 2. 47: Costo de mano de obra para la construcción del sistema de control. 79
Tabla 2. 48: Resumen de costos totales por sistemas. 80
Tabla 3. 1: Calibración y cambio de ancho de cordón de soldadura. 83
Tabla 3. 2: Descripción del material y junta para realizar la soldadura prueba. 84
Tabla 3. 3: Pases realizados en una probeta junta a tope con bisel en V.....85
Tabla 3. 4: Ahorro en la construcción del mecanismo en comparación a la opción uno y dos.....86

RESUMEN

En este proyecto se desarrolla un mecanismo para automatizar la soldadura GMAW (Gas Metal Arc Welding), en base a un equipo de oxicorte, con el que cuenta el Laboratorio de Soldadura de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

Este trabajo inicia realizando la recopilación de información acerca de equipos y sistemas existentes que pueden ser usados en el diseño del mecanismo, partiendo desde el punto de vista del Desarrollo de la función de la calidad que plantea el diseño concurrente, se determinan requerimientos y necesidades del Laboratorio de Soldadura. Con ayuda de herramientas de criterios de selección modular, se determinan la alternativa más idónea para los elementos mecánicos y electrónicos de cada sistema considerado. Para esta alternativa se realiza el diseño de los elementos mecánicos y se selecciona los materiales que conforman el mecanismo para su posterior construcción. Además, se detallan los procesos de construcción y también se realiza un análisis de costos. Siguiendo a la construcción, se ejecuta el montaje del mecanismo, el cual permite la automatización del equipo de soldadura GMAW.

Una vez realizado el montaje, se realizan pruebas para evaluar la funcionalidad del mecanismo. Esto se logra realizando variaciones de anchos de cordones de soldadura en placas de diferente espesor, con diferentes parámetros de soldadura, para una probeta con junta a tope en posición 3G ascendente.

Se concluye que el mecanismo cumple con las expectativas, requerimientos del laboratorio y su desempeño es adecuado para la realización de prácticas demostrativas del proceso de soldadura GMAW automático.

Palabras clave: soldadura, mecanismo, automatizar, GMAW, construcción.

ABSTRACT

This project deals with the development of a mechanism for automating the Gas Metal Arc Welding (GMAW) process based on an oxyfuel equipment, which is available at the Welding Laboratory of the Mechanical Engineering Faculty.

This work starts collecting information about existing equipment and systems that can be used for the design of the mechanism. It starts with the development of quality functions based on the well known concurrent design methodology. The requirements and needs of the Welding Laboratory are determined with help of modular selection criteria tools. The most suitable alternatives for the mechanical and electronic components of each system are selected. The design of the mechanical components, and thus, the materials selection are necessary for the subsequent construction of the mechanism. The construction processes is detailed and a cost analysis is also carried out. Following the construction and assembly of the mechanism, the automation of the GMAW welding equipment is implemented.

Welding tests are performed to assess the functionality of the mechanism. This is achieved by making variations of widths of weld beads, in plates with different thicknesses and different welding parameters, for a test specimen with butt joint in 3G ascending position.

It is concluded that the mechanism meets the expectations and requirements of the Laboratory, and its performance is adequate to carry out demonstration tests of the automatic GMAW welding process.

Keywords: Welding, mechanism, automate, GMAW, construction.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO PARA AUTOMATIZAR EL PROCESO DE SOLDADURA GAS METAL ARC WELDING (GMAW)

INTRODUCCIÓN

La soldadura en sus inicios era un proceso que no generaba confianza y requería prevenciones, pero actualmente es una tecnología de gran utilidad para la industria. Con el uso masivo de la soldadura se creyó que era un proceso que había alcanzado su máximo desarrollo y los fabricantes empezaron dejar de invertir en nuevos avances. Contrario a esto, la soldadura se ha desarrollado con avances que permiten optimizar las actividades de fabricación en las industrias y mejorar la relación costo-efectividad. Con esto se hace referencia a tecnologías nuevas en sistemas automatizados que permiten ahorrar tiempo y costos en procesos de manufactura. Además, se da una mayor garantía de calidad en la producción de piezas, teniendo mejores características al minimizar el margen de error humano (Gamba, 2016).

En una encuesta realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), se encontró que el 1,58% del PIB está asignado para actividades de innovación y avances tecnológicos. Sin embargo, la mayor parte de la industria ecuatoriana trabaja con soldadura manual (INEC, 2016).

La industria en el Ecuador se encuentra en una etapa de desarrollo, adaptación y transición, en la cual, los centros tecnológicos y universidades pueden realizar importantes aportes en temas relacionados con la automatización de procesos industriales. En esto se incluye el tema de la soldadura automática, ya que se trata de un proceso que se encuentra en un lugar destacado en la industria metalmecánica.

Existen dos razones importantes que impiden el avance de la automatización de procesos industriales en nuestro país. Una de ellas es el costo que los empresarios suponen implica automatizar los procesos, y el otro es la capacitación de profesionales que se requiere para poder adaptar los equipos para realizar procesos automáticos.

Los equipos que se encuentran comercialmente en el país para realizar el proceso GMAW de manera automática presentan costos elevados. Además, para su correcto funcionamiento es necesario cumplir con ciertas condiciones básicas como espesores mínimos de placa a soldar y altos ciclos de trabajo.

Sumado a esto la gran mayoría de estos equipos requieren de capacitación del personal para su buen uso (Araujo & Calvachi, 2012).

Por lo expuesto anteriormente, el presente proyecto plantea automatizar el equipo de soldadura GMAW con el que cuenta el laboratorio de soldadura, para facilitar la realización de prácticas del proceso GMAW en posición de soldadura plana y vertical, mejorando así la calidad de las soldaduras. Además, se podrán reducir costos en el material de aporte y optimizar el tiempo de ejecución de este proceso.

Objetivo general

Diseñar y construir un mecanismo para automatizar el proceso de soldadura Gas Metal Arc Welding (GMAW).

Objetivos específicos

- Establecer las especificaciones técnicas del mecanismo para que realice el proceso de soldadura GMAW de manera automática.
- Determinar una alternativa de diseño seguro y viable para el mecanismo de avance lineal automático del proceso GMAW.
- Construir un mecanismo de avance lineal que cumpla con especificaciones técnicas del proceso de soldadura GMAW para los requerimientos del Laboratorio.
- Implementar un banco de pruebas para la realización de prácticas dentro del laboratorio de soldadura.

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se desarrolla una breve descripción del proceso GMAW, sus principales variables y posiciones de soldadura que servirán de apoyo para el desarrollo del proyecto, además de un resumen de los microprocesadores más comunes para realizar el control automático.

1.1. Proceso de soldadura GMAW

Este proceso de soldadura en su inicio trabajaba tan solo con gas inerte para la protección del arco eléctrico, tomando el nombre de metal inert gas (MIG). Con el desarrollo del proceso se comenzó a utilizar gases diferentes, que al ser reactivos pueden combinarse bajo ciertas condiciones, de ahí la denominación metal active gas (MAG). Debido a estas variaciones en la tipología de gas protector la denominación de soldadura por arco eléctrico bajo protección gaseosa (GMAW), fue adoptado por la American Welding Society (AWS) (Rowe & Jeffus, 2008).

1.1.1. Equipo

Un equipo básico utilizado para este proceso de soldadura cuenta con los elementos principales como: pistola de soldadura (torcha) con un pulsador de inicio y parada de soldadura, pinza de masa, bombona de gas protector, bobina de hilo de alimentación y una fuente de poder, detallados en la figura 1.1 (Rowe & Jeffus, 2008).

En la figura 1.2 se muestra la configuración de una torcha utilizada en el proceso GMAW al momento de aparición del arco eléctrico, donde se detalla la localización de conductos por donde sale el gas protector, alambre de alimentación, metal base, torcha y arco.

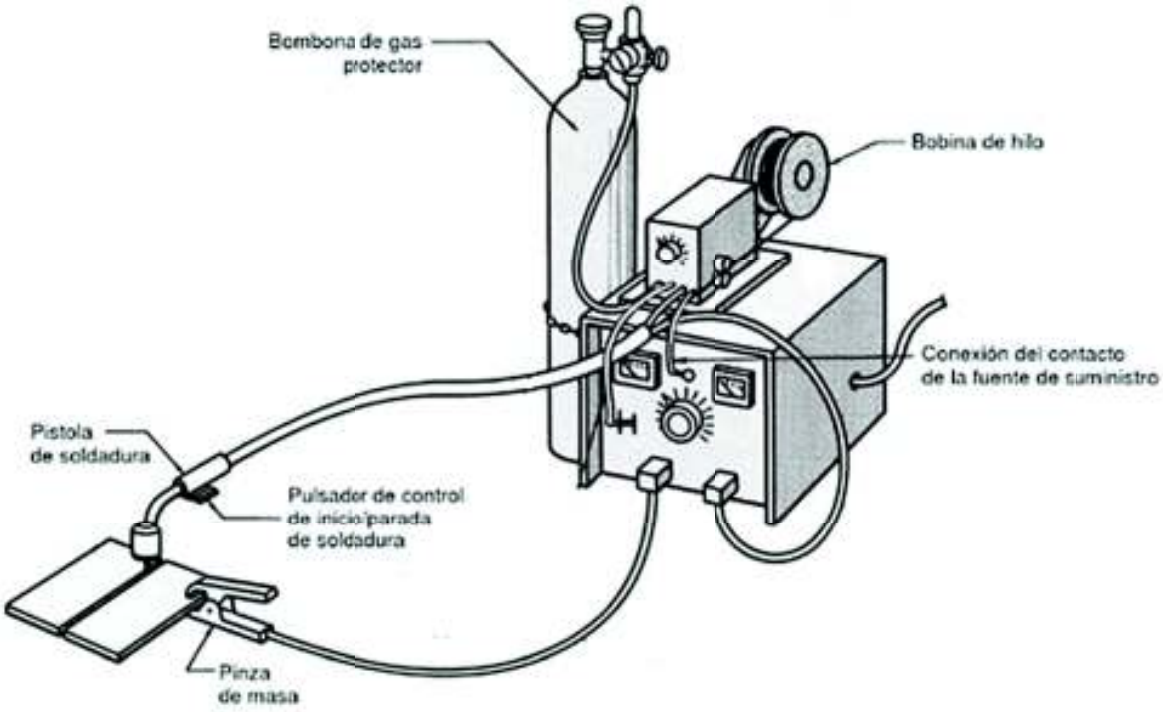


Figura 1. 1: Equipo básico de soldadura GMAW.
(Fuente: Rowe & Jeffus,2008)

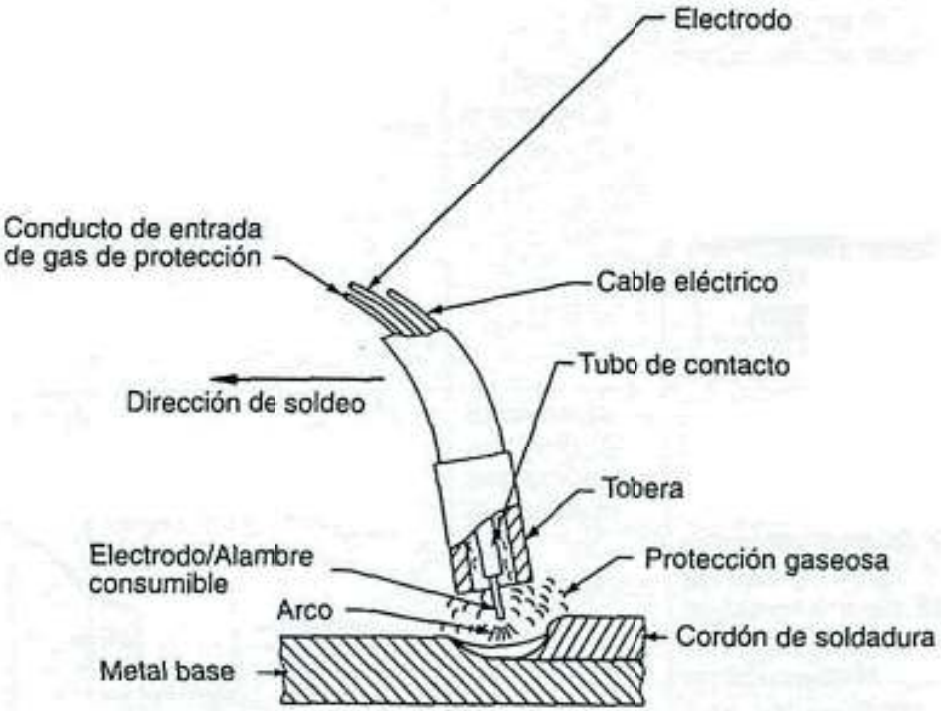


Figura 1. 2: Componentes de torcha en el proceso GMAW.
(Fuente: Eyheralde, 2012)

1.2. Variables principales del proceso GMAW

Las variables del proceso GMAW afectan directamente a las características del cordón de soldadura. Estos factores, en cualquier operación de soldadura, tienen un alto rango de variación y deben ser ajustados de manera que se pueda realizar el proceso más eficientemente (ESAB Welding Handbook, 2008). A continuación, se describen las variables más importantes.

1.2.1. Corriente de soldadura

La corriente de soldadura en el proceso GMAW está directamente relacionada con la velocidad de alimentación del alambre. Si la velocidad de alimentación aumenta también lo hace la intensidad de corriente. En la figura 1.3 se puede observar la relación entre la velocidad de alimentación del alambre y la corriente de soldadura, además se visualiza que a medida que el diámetro del electrodo aumenta, también lo hace la intensidad de corriente (Nadzam, 2014).

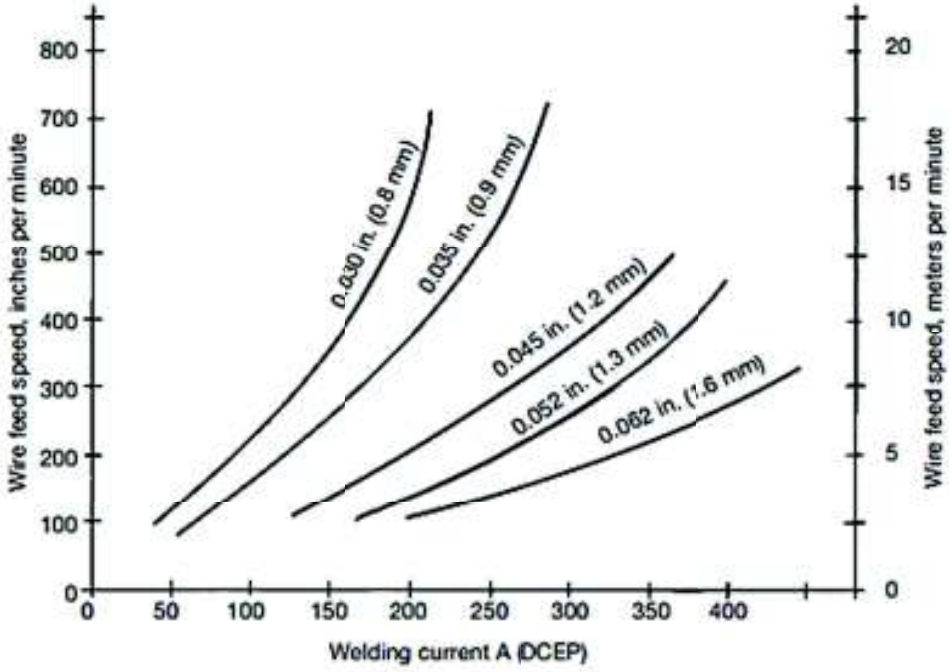


Figura 1. 3: Corrientes de soldadura típicas vs velocidad de alimentación del alambre.
(Fuente: Nadzam,2014)

Finalmente, al mantener las demás variables constantes, un incremento en la corriente de soldadura causaría un aumento en la tasa de deposición, en la penetración de soldadura y en el tamaño de cordón (Rengifo, 2009).

1.2.2. Voltaje de soldadura

La configuración del voltaje se establece para mantener y controlar directamente la estabilidad del arco en la velocidad de alimentación del electrodo o corriente de soldadura elegidas, y ayudar a minimizar las salpicaduras (Saunders, 1997).

Un arco de soldadura largo va a tender a desviarse, afectando a la penetración y a la cara del perfil de la soldadura. Al contrario, si el arco es muy corto, es probable que cause inestabilidad ya que puede darse un cortocircuito entre la punta del electrodo y el charco de soldadura (Rengifo, 2009).

1.2.3. Velocidad de Avance

Al controlar la velocidad de avance es posible obtener una penetración adecuada y mejorar las características de la junta soldada. Con velocidades bajas, el arco incide en su mayor parte sobre el charco de soldadura, que en el metal base, ocasionando una reducción de la penetración efectiva y provocando que se aumente el ancho del cordón. Además, al haber un mayor tiempo de incidencia del arco voltaico, se transfiere mayor energía al material base, y por lo tanto existe una mayor zona afectada por el calor (Gonzalez, Vergara, Toledo, & Calderón, 2010).

Contrario a lo anterior, se va a producir una soldadura irregular si la velocidad de avance es alta. A mayor velocidad, la transferencia de energía hacia el metal base disminuirá. La falta de deposición del metal de aporte puede llegar a producir socavamiento en los bordes del cordón de soldadura (Lincoln-KD, 2010).

1.2.4. Longitud libre del electrodo (Stickout)

Este parámetro es de mucha importancia en un proceso GMAW, específicamente en la protección del baño de fusión. Si la longitud libre del electrodo aumenta entonces la penetración es más débil y la cantidad de proyecciones son mayores como se muestra en la figura 1.4. Esto afecta la salida del gas de protección, y lo cual puede ocasionar contaminación excesiva y porosidad (Lincoln-KD, 2010).

La variación del stickout produce un cambio en las características eléctricas del sistema. Cuando disminuye la longitud libre del electrodo, para una velocidad de alimentación del alambre constante, incrementa los requisitos de corriente de soldadura y disminuye la tasa de deposición (Saunders, 1997).

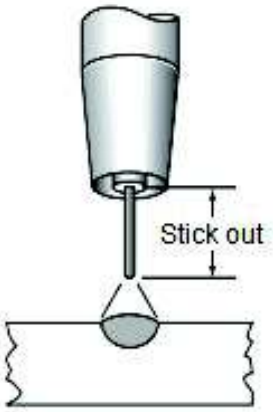


Figura 1. 4: Longitud libre del electrodo (Stick out).
(Fuente: Lincoln Electric, 2014)

1.2.5. Ángulo de desplazamiento

Es el ángulo referente a una perpendicular a la pieza de trabajo y el electrodo como se muestra en la figura 1.5. Este es un parámetro que influye en la penetración de soldadura y tamaño del cordón, además, depende del tipo de operación y técnica que se vaya a realizar para determinar el ángulo de desplazamiento óptimo. Para soldar espesores pequeños que requieren poca penetración, se recomienda usar la técnica de soldeo hacia adelante. Y si lo que se requiere es una penetración máxima, se debe usar la técnica de soldeo hacia atrás y con 25° de ángulo de desplazamiento.

En la mayoría de aplicaciones se suelda con un ángulo de desplazamiento de 5-15° con la técnica de soldeo hacia atrás (Lincoln-KD, 2010).

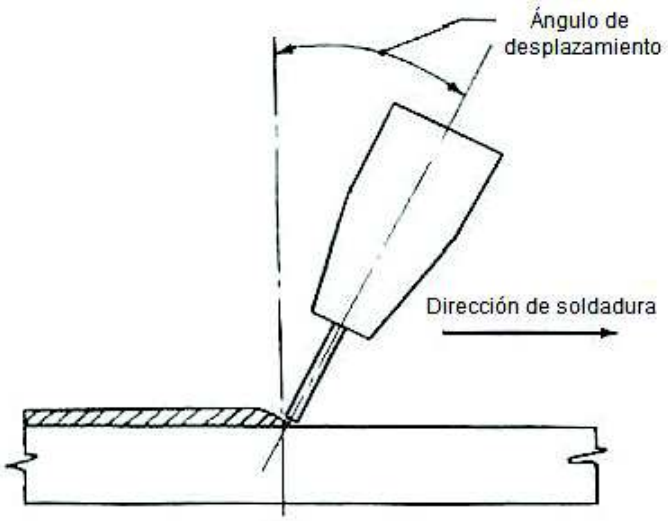


Figura 1. 5: Ángulo de desplazamiento.
(Fuente: American Welding Society,1996)

1.3. Fuente de alimentación

La fuente de alimentación idónea para el proceso de soldadura GMAW es la de tipo de voltaje constante (CV). Este tipo de fuente se encuentra en transformadores-rectificadores o con generadores motrices. Se debe tener en cuenta que en la mayoría de aplicaciones se utiliza la configuración de corriente directa con electrodo positivo (DCEP), donde la torcha es conectada al polo positivo y la pinza masa al negativo.

1.4. Métodos de transferencia de material de aporte

La transferencia de material de aporte ocurre dependiendo de parámetros operacionales como voltaje, intensidad de corriente, polaridad, diámetro del alambre y tipo de gas protector. Entonces, se clasifica en transferencia spray, transferencia globular y transferencia por cortocircuitos. (Gonzalez et al., 2010; Rengifo, 2009)

Transferencia spray: El material se transfiere en forma lineal con el eje del electrodo como se muestra en la figura 1.6 (a). Esto ocurre cuando se utiliza la configuración de soldadura DC+ (electrodo conectado al polo positivo), entonces las gotas van en dirección del alambre hacia el metal base independientemente de la gravedad. Este método es el que presenta mayor transferencia de energía en el proceso GMAW (Reyes, 2007).

Transferencia globular: El material se transfiere en forma de gotas relativamente grandes con forma irregular como se presenta en la figura 1.6 (b). La fuerza producida por el campo electromagnético es mucho menor en comparación con la gravedad, por lo que este tipo de transferencia se restringe a soldadura en posición plana (Eyheralde, 2012).

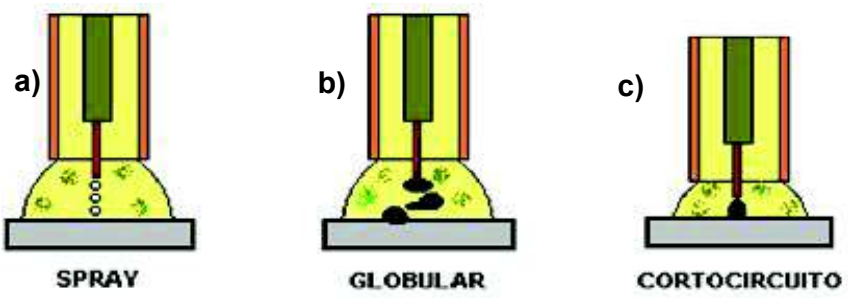


Figura 1. 6: a) Transferencia spray, b) Transferencia globular, c) Transferencia por cortocircuito.
(Fuente: Reyes,2007)

Transferencia por cortocircuito: El material se transfiere al momento en el cual el electrodo entra en contacto con el material base, produciendo corto circuitos con mucha regularidad (al menos 200 veces por segundo), además de una elevación de la intensidad de corriente acompañada con la elevación del campo magnético que produce una fuerza P (fuerza del efecto pinch), que estrangula al material hasta arrancarlo del electrodo como se muestra en la figura 1.7, resultando una excelente opción para soldadura vertical (Eyheralde, 2012).

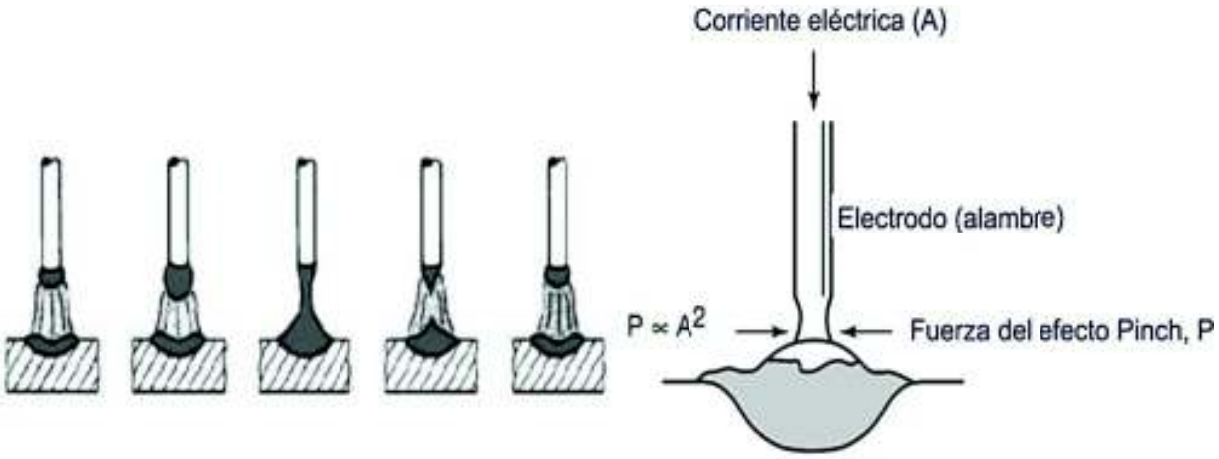


Figura 1. 7: Proceso de transferencia por cortocircuito y presencia de fuerza P.
Fuente: (Eyheralde, 2012)

1.5. Posiciones de soldadura

Para la ejecución del cordón de soldadura se tienen cuatro posiciones establecidas, que se determinan por la posición del eje de la soldadura en los planos, estas son: plana, vertical, horizontal y sobre cabeza (Soldexa, 2012).

Según la norma AWS se designan las posiciones de soldeo con ángulo con la letra F y a tope con la letra G (Metfusion, 2013).

Para el desarrollo del proyecto las posiciones en las que el mecanismo realizará el proceso de soldadura serán las posiciones 1G y 3G como se muestra en la figura 1.8.

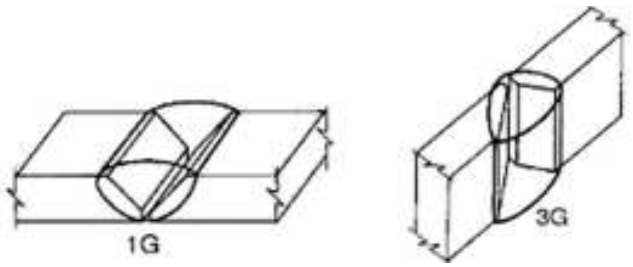


Figura 1. 8: Posiciones de soldadura: Plana (1G), vertical (3G).
(Fuente: Rowe & Jeffus, 2008)

1.6. Sistemas de transmisión mecánicos

En los subcapítulos anteriores se describieron las variables de soldadura, las cuales deben ser controladas mediante el movimiento de avance longitudinal y transversal de la torcha, dicho movimiento puede ser controlado mediante sistemas de transmisión mecánica.

Se define transmisión mecánica cuando mediante la utilización de mecanismos se transmite energía mecánica de un elemento motor a diferentes elementos conducidos.

1.6.1. Transmisión mediante correas

Este tipo de transmisión es aplicado normalmente cuando se requiere transmitir movimiento de rotación, donde no es necesario mantener una relación de transmisión exacta ya que puede existir deslizamiento de las correas sobre las poleas (Flores, 2015). Algunos tipos de correas se muestra en la figura 1.9.

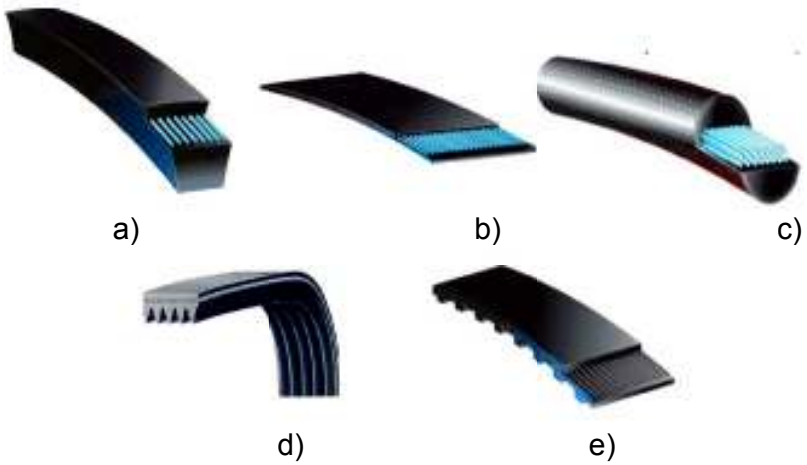


Figura 1. 9: Tipos de correas de transmisión de potencia: (a) trapezoidal, (b) plana, (c) redonda, (d) acanalada,(e) dentada.

(Fuente: ECORSA, 2015)

1.6.2. Transmisión mediante cadenas

Este tipo de transmisión se da mediante el uso de dos o más ruedas dentadas y un elemento deformable que está compuesto por eslabones rígidos que juntos constituyen una cadena. Es utilizada cuando se necesita transmitir potencia mecánica entre ejes de distancia considerable. Además, si se requiere transmitir una potencia elevada, bastará con aumentar el número de hileras de cadenas como se muestra en la figura 1.10 (Odetto, 2014).

Figura 1. 10: Transmisión de potencia mediante cadena múltiple.
(Fuente: TIDISAC, 2018)

1.6.3. Transmisión mediante engranajes

Este sistema permite transmitir potencia mecánica entre dos ejes mediante contacto directo de dos engranajes acoplados a cada uno de sus ejes, teniendo una relación de velocidades angulares constantes.

En la figura 1.11 se muestran parámetros geométricos de un engrane cilíndrico recto, los cuales corresponden a la nomenclatura utilizada en este proyecto.

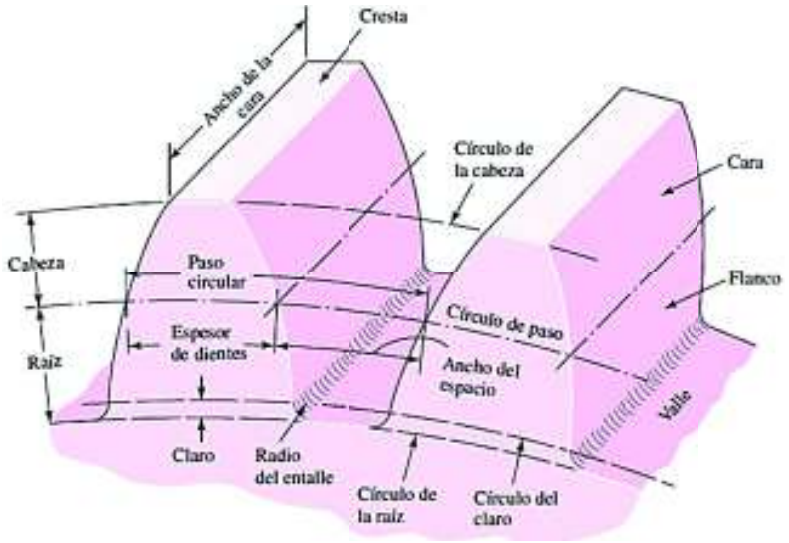


Figura 1. 11: Nomenclatura de un engranaje.
(Fuente: Budynas & Nisbett, 2012)

Uno de los parámetros más importantes para el diseño de un engrane es el módulo, que viene a ser la relación entre el diámetro de paso y el número de dientes como se presenta en la ecuación 1.1.

$$m = \frac{d_p}{N} \qquad \text{(Ec. 1. 1.)}$$

Donde

$m: módulo\ [mm]$

$d_p: diámetro\ de\ paso\ [mm]$

$N: número\ de\ dientes$

Para el caso piñón-cremallera podemos considerar a la cremallera como un engrane recto con diámetro de paso infinito, por lo tanto, presenta la siguiente relación entre giro y velocidad de avance como se muestra en la figura 1.12.

$$V_A = \frac{\pi\, d_p \omega_p}{60000} \qquad \text{(Ec. 1. 2.)}$$

Donde:

$V_A = Velocidad\ de\ avance\ [m/s]$

$d_p = Diámetro\ primitivo\ [mm]$

$\omega_p = Velocidad\ angular\ del\ piñon\ [RPM]$

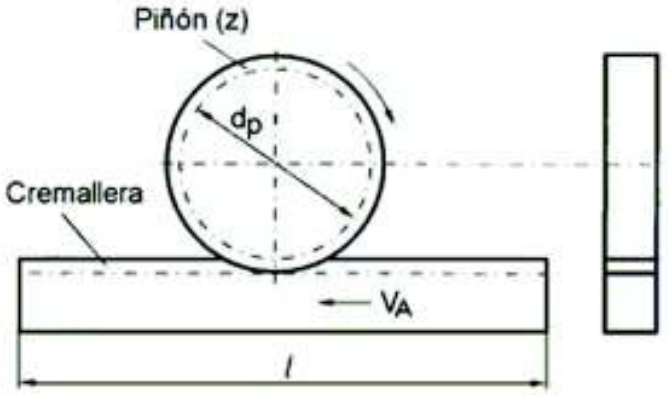


Figura 1. 12: Velocidad de avance en sistema piñón cremallera.
(Fuente: CATEDU, 2016)

1.6.3.1. Diseño de engranajes mediante la metodología de la AGMA

La metodología de la American Gear Manufacturers Association (AGMA) emplea ecuaciones que permiten determinar el esfuerzo de flexión que se da por la carga que transmite el engrane, el esfuerzo de contacto o resistencia a la picadura y sus respectivas resistencias (Budynas & Nisbett, 2012).

En la tabla 1.1 se muestran las ecuaciones que permitirán calcular el esfuerzo de flexión y el esfuerzo de contacto.

Tabla 1. 1: Principales fórmulas para el cálculo de esfuerzo de flexión y de contacto en engranajes.

Parámetro	Ecuación	Donde	
Esfuerzo de flexión permisible [Mpa]	$\sigma_{perm} = \frac{S_t.Y_N}{K_T.K_R}$	$S_t: resistencia\ a\ la\ flexión\ [MPa]$ $Y_N: factor\ de\ ciclos\ de\ esfuerzo$ $K_T: factor\ de\ temperatura$ $K_R: factor\ de\ confiabilidad$	(Ec. 1.3.)
Esfuerzo de flexión teórico [Mpa]	$\sigma = W^t.K_o.K_v.K_s.\frac{K_m.K_B}{F.m.J}$	$W^t: carga\ tangencial\ [N]$ $K_o: factor\ de\ sobrecarga$ $K_v: factor\ de\ velocidad$ $K_s: factor\ de\ tamaño$ $K_m: factor\ de\ distribución\ de\ carga$ $K_B: factor\ de\ espesor\ del\ aro$ $F: ancho\ de\ cara\ [mm]$ $m: módulo\ [mm]$ $J: factor\ geométrico$	(Ec. 1.4.)
Esfuerzo de contacto permisible [Mpa]	$\sigma_{c,perm} = \frac{S_c.Z_n}{K_T.K_R}$	$S_c: resistencia\ a\ la\ fatiga\ por\ contacto$ $Z_n: factor\ de\ vida\ de\ ciclos\ de\ esfuerzo$	(Ec. 1.5.)
Esfuerzo de contacto teórico [Mpa]	$\sigma_c = C_p\left(\frac{W^t.K_o.K_v.K_s.K_m.C_f}{d_p.F.I}\right)^{\frac{1}{2}}$	$C_p: coeficiente\ elástico$ $C_f: factor\ de\ condición\ superficial$ $d_p: diámetro\ de\ paso\ [mm]$ $I: factor\ geométrico\ de\ resistencia\ superficial$	(Ec. 1.6.)

(Fuente: Propia)

1.7. Sistemas de control mediante microcontroladores

En el subcapítulo anterior se presentó una descripción de sistemas de transmisión mecánica para la generación del movimiento de la torcha, por lo tanto, en este subcapítulo se describen algunos tipos de microcontroladores que pueden ser una opción para el control automático de la torcha.

1.7.1. Microcontrolador STM32

Son un tipo de microcontroladores de bajo consumo que brindan al usuario la creación de prototipos. Ideal tanto para pequeños proyectos como para plataformas completas. Es compatible con arduino y brindan altos rendimientos, procesamiento de señal digital,

conectividad y fácil desarrollo. En la figura 1.13 se muestra un ejemplo de un microcontrolador STM32 (Kurniawan, 2016).

Figura 1. 13: Modelo de STM32 Núcleo F401RE.
(Fuente: Kurniawan, 2016)

1.7.2. Arduino

Arduino es una plataforma de hardware libre muy útil para el desarrollo de elementos autónomos. Trabaja con un voltaje de entrada de 6-20 [V] puede ser alimentada con un cable USB o una fuente externa. Al ser una herramienta didáctica su lenguaje de programación es muy sencillo. En la figura 1.14 se muestra un modelo de Arduino UNO R3 (Barret, 2012).

Figura 1. 14: Modelo Arduino UNO R3.
(Fuente: Barret, 2012)

1.7.3. Microcontrolador Raspberry Pi

A diferencia de Arduino, Raspberry Pi es una computadora funcional que trabaja 40 veces más rápido y posee una mayor memoria RAM. Tiene la capacidad de realizar varias tareas y de conectarse a internet de manera inalámbrica, ver figura 1.15 (Aranda, 2014).

Figura 1. 15: Modelo de la plataforma Raspberry Pi.
(Fuente: Pifactory, 2016)

1.8. Equipos para automatización de procesos de soldadura utilizados en la industria

Luego de realizar una breve descripción de las herramientas necesarias para el control del movimiento de la torcha, en este subcapítulo se presentan algunos equipos utilizados para la automatización de procesos de soldadura existentes y empleados en la industria.

1.8.1. Carro soldador Koike IK-72W

El equipo que se presenta en la figura 1.16 es un modelo utilizado para realizar soldadura recta y cuenta con imanes ultra fuertes para realizar soldaduras en posición vertical. Su avance se consigue mediante un sistema de piñón-cremallera y se guía mediante un riel. Gracias a su aleación de aluminio resulta ser muy ligero y de fácil uso (DirectIndustry, 2018).

Figura 1. 16: Carro para automatización de procesos de soldadura guiado con riel. Modelo: Koike. IK-72W.
(Fuente: DirectIndustry, 2018)

1.8.2. Carro de soldadura magnético

Debido a su fuerte tracción magnética y su bajo centro de gravedad, el equipo de la figura 1.17 permite soldar en posición plana y vertical. Además, es uno de los modelos del mercado de hoy que alcanza una mayor estabilidad de tracción (DirectIndustry, 2018).

Figura 1. 17: Carro de soldadura automática magnético.
(Fuente: DirectIndustry, 2018)

1.8.3. Rail Runner II Carro de soldadura y corte modular

El Rail Runner II que se muestra en la figura 1.18 es un equipo para varias aplicaciones de soldadura, y ranurado en placas o tuberías. Posee un control remoto de mando y gracias a su sistema de riel magnético y piñón-cremallera es posible soldar en todas las posiciones (Steelmax, 2018).

Figura 1. 18: Carro de soldadura y corte modular Rail Runner II.
(Fuente: Steelmax,2018)

1.8.4. Carro de soldadura DRAGON

El equipo de la figura 1.19 es un carro de soldadura motorizado que viene incorporado con un sistema digital de control de velocidad con regulador Proporcional Integral Derivativo (PID). Su avance se consigue mediante un carril guía y permite realizar operaciones de corte y biselado hasta 45° (Galagar, 2017).

Figura 1. 19: Equipo de soldadura y corte con carril-guía.
(Fuente: Galagar, 2017)

1.8.5 Carro de soldadura Fronius

El carro de soldadura automático de la figura 1.20 está equipado con un sistema magnético que le permite soldar en cualquier posición. Incluye una batería recargable que brinda comodidad para soldar cordones largos (Fronius, 2018).

Figura 1. 20: Carro de soldadura magnético Fronius.
(Fuente: Fronius, 2018)

2. METODOLOGÍA

En el capítulo anterior se realizó una descripción breve acerca del fundamento teórico para la realización del presente proyecto. A continuación, se detalla el proceso para la selección y diseño de elementos mecánicos y electrónicos que son utilizados para la construcción del mecanismo.

2.1. General

El presente proyecto parte de la definición del problema planteada en la introducción como se muestra en la figura 2.1 en el paso 1. En base a los criterios y necesidades del cliente (Laboratorio de soldadura de la Facultad de Ingeniería Mecánica) se plantean los requerimientos correspondientes al paso 2. Esto se refiere a la voz del usuario y voz del ingeniero que son presentadas en la sección 2.2.1.

A partir de la voz del usuario y de la voz del ingeniero se procede al paso 3 donde se elabora la casa de la calidad, ver sección 2.2.2. Entonces, en el paso 4 se determinan los parámetros más influyentes para el diseño del sistema, siendo estas las especificaciones técnicas presentadas en la sección 2.2.3.

En la sección 2.2.4 se desarrolla el paso 5 que viene a ser el análisis funcional del mecanismo, el cual es dividido en nivel cero y nivel uno, esto para tener una mejor comprensión del funcionamiento del mecanismo requerido.

Después, en el paso 6, se plantean diferentes alternativas para cada módulo y en el paso 7 se selecciona la mejor opción basándonos en el método de residuos ponderados presentados en la sección 2.3.

Una vez seleccionada la mejor alternativa, en el paso 8 se verificará que el mecanismo cumpla con todos los requerimientos. Después en el paso 9 se realizará el diseño de elementos mecánicos y en el paso 10 el diseño del sistema de control como se muestran en las secciónes 2.4 y 2.5 respectivamente.

Siguiendo con el paso 11, en el subcapítulo 2.6 se describe la construcción del mecanismo donde también se detallan los costos de construcción.

Finalmente, en el paso 12 se realizará pruebas en placas de diferente espesor para constatar la funcionalidad del mecanismo, ver sección 2.7

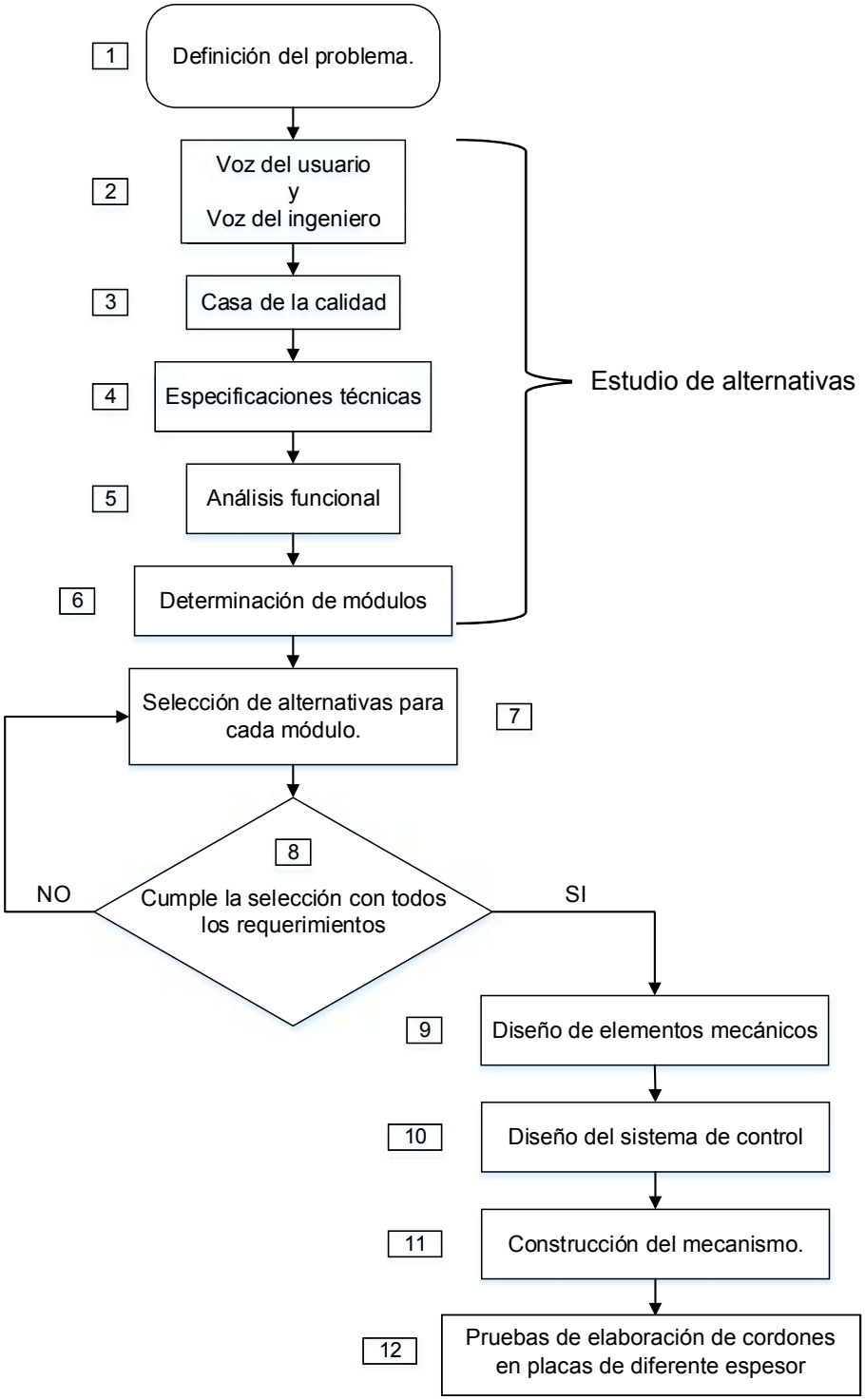


Figura 2. 1: Metodología para el diseño y construcción del mecanismo para automatizar el proceso GMAW.
(Fuente: Propia)

2.2. Estudio de alternativas

Partiendo de la definición del problema mostrado en el paso 1 este subcapítulo comprende los pasos del 2 al 6 presentados en la figura 2.1, donde se determina los principales parámetros y requerimientos funcionales del mecanismo.

2.2.1. Voz del usuario y voz del Ingeniero

La voz del usuario describe los requerimientos y demandas del laboratorio de soldadura y estas son:

- El mecanismo debe tener por lo menos 10 años de vida útil.
- El mecanismo debe tener un peso considerablemente bajo para poder montar y desmontar manualmente
- El mecanismo debe permitir un fácil mantenimiento
- El mecanismo debe ser de bajo costo
- El mecanismo debe ser compacto y de fácil traslado
- El mecanismo debe seguir una trayectoria especifica planteada por el usuario
- El mecanismo debe ser amigable con el usuario
- El mecanismo debe realizar por lo menos un metro lineal de soldadura
- El mecanismo debe ser seguro al momento de realizar la soldadura
- El mecanismo debe ser adaptable para realizar soldadura en posición plana y vertical.

A continuación, en la voz del ingeniero se reflejan los requerimientos y demandas del usuario conjugados en requerimientos técnicos

- Resistencia mecánica
- Peso
- Fácil mantenimiento
- Fácil montaje
- Costo
- Volumen
- Estabilidad

- Fácil pre-operación
- Ciclo de operación
- Seguridad y ergonomía
- Adaptabilidad

Además, se debe tomar en cuenta los siguientes conceptos:

- Análisis de competitividad
- Correlaciones
- Comparación Técnica
- Compromisos Técnicos

2.2.2. Casa de la calidad

En base a la revisión de los equipos existentes utilizados para realizar soldadura de manera semiautomática y automática presentados en el subcapítulo 1.8, se procede a realizar una comparación de las especificaciones de los equipos versus las especificaciones objetivo planteadas por el usuario, ya que la casa de la calidad está conformada de matrices que facilitan el desarrollo en función de la calidad Quality Function Deployment (QFD), logrando transformar las demandas del usuario en requerimientos técnicos del producto.

Se procede a realizar la casa de la calidad enfocada a requerimientos del mecanismo para automatizar la soldadora GMAW, ver anexo 1.

2.2.2.1. Resultados de la casa de la calidad

Después de elaborar la casa de la calidad, los resultados son presentados en la tabla 2.1

Tabla 2. 1: Puntos de importancia en la demanda del usuario.

Demandas	Puntos de importancia	
Básicas	• Larga vida útil • Estable	• Longitud de soldadura • Confiable
Unidimensionales	• Liviano • Fácil mantenimiento	• Bajo costo • Fácil manejo
Estimulantes	• Desarmable • Compacto	• Diferente posicionamiento

(Fuente: Propia)

Entonces, en el anexo 1 se puede observar que se debe enfocar la atención en seis puntos importantes, como resultado se obtiene una suma total del 62,46% de las mejoras y en el siguiente orden de importancia: Estable, bajo costo, fácil manejo, diferente posicionamiento, liviano y desarmable.

A partir del análisis anterior en la tabla 2.2 se presenta las características técnicas del mecanismo para la automatización del proceso de soldadura GMAW que constituyen la voz del ingeniero.

Tabla 2. 2: Detalle de características técnicas

Característica	**Magnitud**	**Unidad de medida**
Tiempo de vida	10	años
Peso	9	kg
Período de mantenimiento	1	$mantenimieto/mes$
Tiempo de montaje	5	min
Bajo costo	400	$
Volumen	1	m^3
Estabilidad	(-)	(-)
Tiempo de pre-operación	3	min
Distancia de operación	1	m
Ergonomía	(-)	(-)
Adaptabilidad	(-)	(-)

(Fuente: Propia)

Podemos observar que, al momento de correlacionar los deseos del cliente con características técnicas existen parámetros que no son medibles como la ergonomía y adaptabilidad, además de la estabilidad que puede ser relacionada con un diagrama de equilibrio de fuerzas.

Luego de evaluar las características técnicas del producto se tiene 6 incidencias en el siguiente orden de importancia: tiempo de montaje, tiempo de pre-operación, adaptabilidad, tiempo de vida útil, estabilidad y volumen. Sumando el 65,29% del total, ver anexo 1. Finalmente, luego de analizar las características técnicas se tiene que los parámetros más importantes a considerar para el diseño del mecanismo son:

- Bajo tiempo de montaje
- Bajo tiempo de pre-operación

- Estabilidad
- Volumen

2.2.3. Especificaciones técnicas

Teniendo en cuenta las demandas presentadas en la voz del usuario y del ingeniero, ver sección 2.2.1, y considerando los resultados de la casa de la calidad presentados en el subcapítulo anterior, la tabla 2.3 expone un conjunto de las características más importantes que deben ser consideradas para el diseño del mecanismo.

Tabla 2. 3: Especificaciones técnicas del carro soldador automático.

<table>
<tr><td colspan="2">Usuario:

Laboratorio de Soldadura de la Facultad de Ingeniería Mecánica</td><td colspan="2">Productos:

Carro soldador automático</td><td>Fecha inicial:
07/09/2018
Última revisión:
07/10/2018

Página 1/1</td></tr>
<tr><td colspan="5">Especificaciones</td></tr>
<tr><th>Concepto</th><th>Fecha</th><th>Propone</th><th>R/D</th><th>Descripción</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Función</td><td rowspan="3">07/09/2018</td><td>C+I</td><td>R</td><td>Soldadura de placas longitud de cordón máximo 1 metro.</td></tr>
<tr><td>C+I</td><td>R</td><td>Soldadura en posiciones plana y vertical.</td></tr>
<tr><td>C+I</td><td>R</td><td>Avance lineal automático.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Dimensión</td><td rowspan="3">07/09/2018</td><td>C</td><td>R</td><td>Largo máximo 1 [m].</td></tr>
<tr><td>C</td><td>R</td><td>Ancho máximo 0.5 [m].</td></tr>
<tr><td>C</td><td>R</td><td>Alto máximo 0.18 [m]</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Movimientos</td><td rowspan="2">07/09/2018</td><td>C+I</td><td>R</td><td>Movimiento trasversal de la torcha 0.15 [m].</td></tr>
<tr><td>I</td><td>D</td><td>Velocidad de desplazamiento lineal aprox. 17-110 cm/min.</td></tr>
</table>

		C+I	R	Movimiento en superficie plana y vertical (Dos direcciones).
Energía	07/09/2018	I	R	Energía Eléctrica para accionamiento del movimiento de avance 110 [V].
	07/09/2018	I	R	Energía Eléctrica para movimiento longitudinal de la torcha 12 ó 24 [V].
Señales y control	07/09/2018	I	D	Pulsador de accionamiento.
	07/09/2018	C+I	R	Mando de control de velocidad avance y movimiento de la torcha.
Vida útil y mantenimiento	07/09/2018	C+I	R	En operación 10 años.
		C+I	R	Mantenimiento mensual.
		I	R	Mantenimiento anual preventivo realizable por personal calificado.

(Fuente: Propia)

Propone: C = Cliente; I= Ingeniería

R/D: R = Requerimiento; MR = Modificar Requerimiento; NR= Nuevo Requerimiento; D=Deseo

2.2.4. Análisis funcional

El análisis funcional es una herramienta utilizada para una mejor comprensión de procedimientos que deben seguirse para llegar a cumplir un objetivo del mecanismo, lo cual es explicado mediante un diagrama de flujo en el que está representado las variables involucradas (dinámicas o estáticas), y en el que se puedan evidenciar las entradas y salidas.

En la tabla 2.4 se muestra la simbología según la norma Verein Deutscher Ingenierue (VDI 2222) a utilizar en los niveles principales del mecanismo a diseñar.

Tabla 2. 4: Simbología según norma VDI 2222.

Tipo de interfase	Simbología
Interfase de transferencia de materiales	material
Interfase de energía	energía
Interfase de señal	señal

(Fuente: Propia)

2.2.4.1. Desarrollo de diagramas funcionales

Nivel 0: en este primer nivel el mecanismo se presenta de manera general, donde se puede observar que para la obtención del cordón de soldadura inicialmente se necesita del accionamiento de una persona sumado a la energía y una señal que generen un movimiento del mecanismo como se muestra en la figura 2.2.

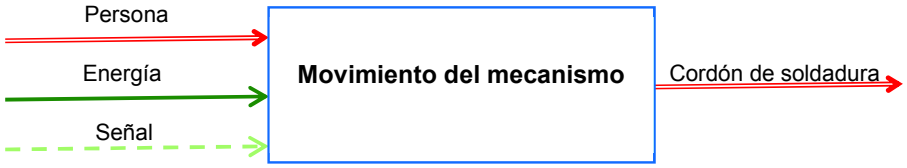


Figura 2. 2: Diagrama general, nivel 0.
(Fuente: Propia)

Nivel 1: Este nivel deriva del nivel 0 ya que se muestran las funciones secundarias como módulos. En la figura 2.3 podemos observar que el módulo 1 se denomina sujeción, el módulo 2 sistema de avance lineal y el módulo 3 el movimiento de la torcha. Estos módulos nos ayudarán a representar las funciones básicas del mecanismo, estableciendo así alternativas de diseño que satisfagan necesidades del usuario y que cumplan con la función principal del mecanismo.

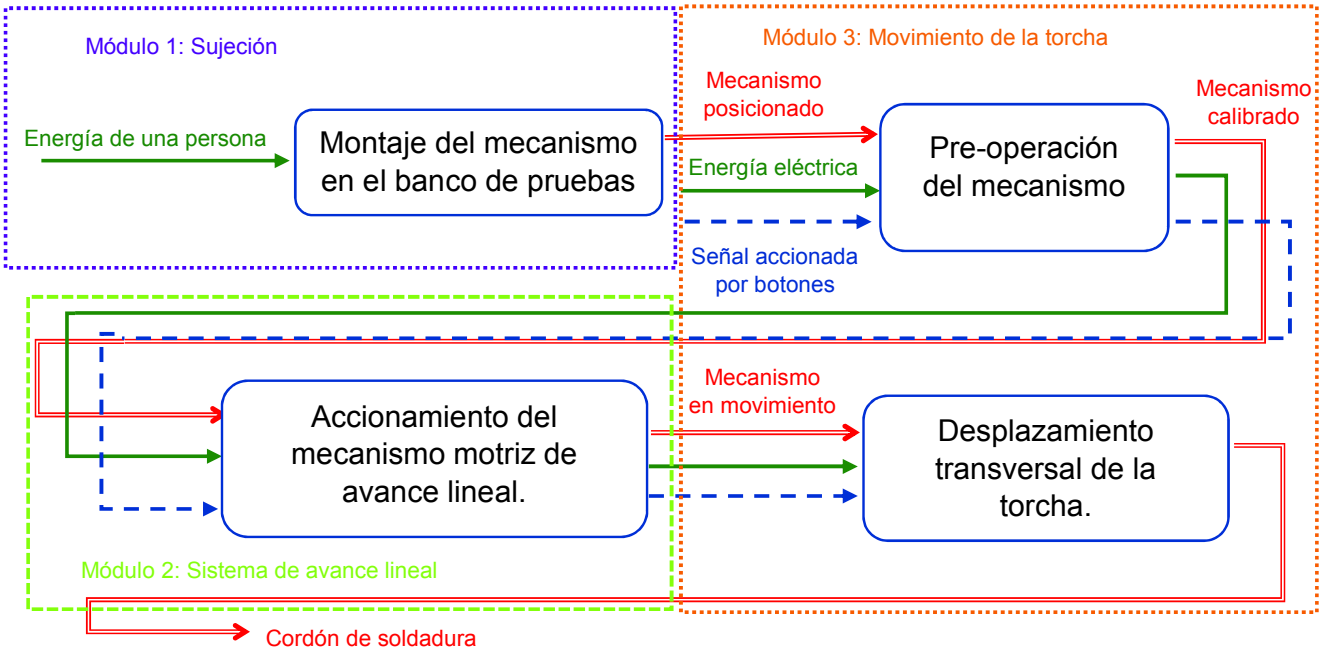


Figura 2. 3: Módulos del mecanismo.
(Fuente: Propia)

2.3. Selección de alternativas para cada módulo

Los módulos consisten en dividir los bloques de acuerdo a la fucionalidad que tendrá el producto y de esta manera facilitar el análisis del sistema y agilizar la determinación de alternativas de diseño.

Los módulos son:

- Sistema de sujeción para movimiento vertical
- Sistema de avance lineal
- Sistema para movimiento transversal de la torcha

2.3.1. Módulo 1.- Sistema de sujeción

Este módulo cumple con la función de sujetar el equipo en el avance vertical.

A continuación, se presentan varias alternativas de soluciones a este módulo.

2.3.1.1. Alternativa 1.- Equipo magnético

En la figura 2.4 se muestra un sistema magnético incorporado a los carros de soldadura automática. Este sistema permite que el carro tenga la suficiente sujeción para realizar soldaduras en cualquier posición.

Figura 2. 4: Carro soldador magnético
(Fuente: Steelmax, 2018)

Ventajas

- Sujeción fuerte
- Fácil acople

Desventajas

- Dificil adquisión dentro del mercado ecuatoriano

2.3.1.2. Alternativa 2.- Riel guía

Este sistema permite una sujeción muy segura dando una mayor estabilidad para soldadura en posición vertical. Está incorporado por ruedas de duralon que se guían por un riel como se muestra en la figura 2.5.

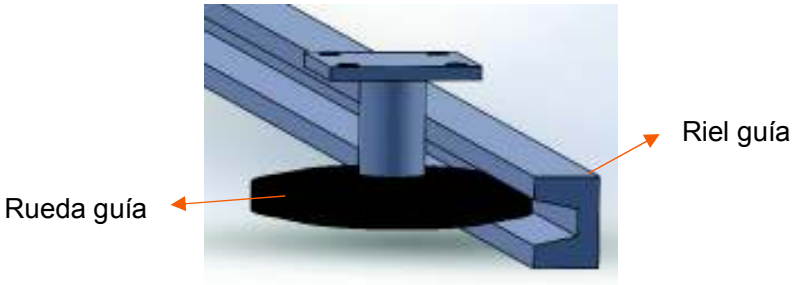


Figura 2. 5: Sistema de riel guía
(Fuente: Propia)

Ventajas

- Sujeción fuerte
- Deslizamiento suave

Desventajas

- Proceso de fabricación de guías complejo debido a la geometría requerida

2.3.1.3. Evaluación de alternativas para el módulo 1

Para la selección de alternativas del módulo 1 se seleccionan los criterios más influyentes:

- Fácil fabricación: determinar el sistema que puede ser fabricado mediante procesos tradicionales de maquinado.
- Seguridad: para seleccionar la alternativa que no permita el volcamiento del carro, evitando ocasionar daños al operario y al mecanismo.
- Fácil montaje: con respecto al sistema que pueda ser montado y desmontado con mayor facilidad.
- Estabilidad: con respecto al sistema que permita una mejor sujeción y mantenga una trayectoria definida.
- Costo: con respecto a la alternativa que represente una menor inversión.
- Adaptabilidad: para determinar el sistema que sea más fácil de adaptar al equipo del laboratorio.

La evaluación de los criterios que se presenta en la tabla 2.5 se lo realiza mediante el método de los residuos ponderados.

Tabla 2. 5: Evaluación de criterios para la selección de alternativas del módulo 1.

CRITERIO	Fácil fabricación	Seguridad	Fácil montaje	Estabilidad	Costo	Adaptabilidad	∑ + 1	Ponderación
Fácil fabricación		0	0,50	0,50	1,00	0,50	3,50	0,17
Seguridad	1,00		0,50	0,50	0,50	1,00	4,50	0,21
Fácil montaje	0,50	0,50		1,00	0,50	0	2,50	0,17
Estabilidad	0,50	0,50	0		1,00	1,00	5,00	0,19
Costo	0	0,50	0,50	0		1,00	3,00	0,14
Adaptabilidad	0,5	0	1,00	0	0		2,50	0,12
					SUMA		21,00	1,00

(Fuente: Propia)

Seguridad > Estabilidad > Fácil fabricación = Fácil montaje >Costo > Adaptabilidad

Se puede observar en la tabla 2.5 que el criterio de mayor influencia es la seguridad, esto se debe a que el sistema de sujeción debe ser lo suficientemente seguro para permitir al equipo soldar en posición vertical.

En la tabla 2.6 se evalúa cada alternativa con respecto al criterio de fácil fabricación.

Tabla 2. 6: Evaluación de las alternativas en función del criterio de fácil fabricación

Criterio de fácil fabricación	Alternativa 1	Alternativa 2	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		1,00	2,00	0,67
Alternativa 2	0		1,00	0,33
Suma			3,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 1 > Alternativa 2

De acuerdo a la tabla 2.6 la mejor alternativa con respecto a fácil fabricación es la alternativa 1, ya que el sistema magnético no requiere fabricación.

En la tabla 2.7 se evalúa cada alternativa con respecto al criterio de seguridad.

Tabla 2. 7: Evaluación de las alternativas en función del criterio de seguridad

Criterio de seguridad	Alternativa 1	Alternativa 2	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		0	1,00	0,33
Alternativa 2	1,00		2,00	0,67
Suma			3,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 2 > Alternativa 1

De acuerdo a la tabla 2.7 la mejor alternativa con respecto a seguridad es la alternativa 2, debido a que sistema magnético requiere de un espesor mínimo determinado de placa para evitar el volcamiento del carro.

En la tabla 2.8 se evalúa cada alternativa con respecto al criterio de fácil montaje.

Tabla 2. 8: Evaluación de las alternativas en función del criterio de fácil montaje.

Criterio de fácil montaje	Alternativa 1	Alternativa 2	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		1,00	2,00	0,67
Alternativa 2	0		1,00	0,33
Suma			3,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 1 > Alternativa 2

De acuerdo a la tabla 2.8 la mejor alternativa con respecto a fácil montaje es la alternativa 1, ya que el sistema magnético no requiere de numerosas piezas para ser montado.

En la tabla 2.9 se evalúa cada alternativa con respecto al criterio de estabilidad.

Tabla 2. 9: Evaluación de las alternativas en función del criterio de estabilidad.

Criterio de estabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		0	1,00	0,33
Alternativa 2	1,00		2,00	0,67
Suma			3,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 2 > Alternativa 1

De acuerdo a la tabla 2.9 la mejor alternativa con respecto a estabilidad es la alternativa 2, ya que la sujeción y guía del riel es mayor que la del sistema magnético.

En la tabla 2.10 evalúa cada alternativa con respecto al criterio de costo.

Tabla 2. 10: Evaluación de las alternativas en función del criterio de costo.

Criterio de costo	Alternativa 1	Alternativa 2	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		0	1,00	0,33
Alternativa 2	1,00		2,00	0,67
Suma			3,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 2 > Alternativa 1

De acuerdo a la tabla 2.10 la mejor alternativa con respecto a costo es la alternativa 2, debido a que el sistema magnético presenta un costo superior al riel guía.

En la tabla 2.11 se evalúa cada alternativa con respecto al criterio de adaptabilidad.

Tabla 2. 11: Evaluación de las alternativas en función del criterio de adaptabilidad.

Criterio de adaptabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		0	1,00	0,33
Alternativa 2	1,00		2,00	0,67
Suma			3,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 2 > Alternativa 1

De acuerdo a la tabla 2.11 la mejor alternativa con respecto a adaptabilidad es la alternativa 2, ya que el sistema riel guía puede ser fácilmente adaptado al equipo del laboratorio.

En la tabla 2.12 se presenta la prioridad de cada alternativa con respecto a la ponderación de cada criterio.

Tabla 2. 12: Conclusiones de las alternativas para el módulo 2.

Conclusiones	Fácil fabricación	Seguridad	Fácil montaje	Estabilidad	Costo	Adaptabilidad	∑	**Prioridad**
Solución 1	0,11	0,07	0,11	0,06	0,04	0,03	0,44	2
Solución 2	0,05	0,14	0,05	0,12	0,09	0,07	0,56	**1**

(Fuente: Propia)

En la tabla 2.12 se observa que la solución 2 (riel guía) cumple en mayor parte con los criterios de evaluación.

2.3.2. Módulo 2.- Sistema de avance lineal.

Este módulo tiene las funciones de:

- Dar el avance lineal al equipo
- Dar la suficiente tracción

A continuación, se presentan varias alternativas de soluciones a este módulo

2.3.2.1. Alternativa 1.- Sistema piñón-cremallera

El sistema piñón-cremallera permite convertir el movimiento angular de un piñón (rueda dentada) en movimiento lineal de una cremallera.

En la figura 2.6 se observa un sistema piñón-cremallera de dientes rectos, ambos elementos mecánicos tienen el mismo módulo.

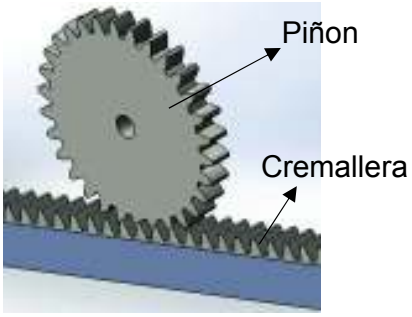


Figura 2. 6: Sistema piñón-cremallera de dientes rectos.
(Fuente: Propia)

Ventajas

- Alta capacidad de carga
- Sistema simple que requiere pocas piezas mecánicas
- No hay deslizamiento

Desventajas

- Construcción compleja
- Costo elevado

2.3.2.2. Alternativa 2.- Llantas de caucho

En la figura 2.7 se presenta un modelo común de llanta de caucho. Este tipo de llantas tienen un diseño con diversos labrados que permiten tracción. Gracias a su material son resistentes a la corrosión.

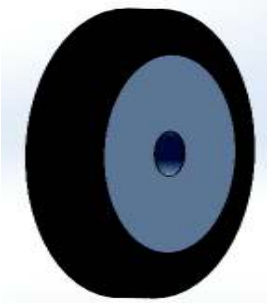


Figura 2. 7: Llanta de caucho sin cámara de aire.
(Fuente: Propia)

Ventajas

- Fácil adquisión en el mercado ecuatoriano
- Fácil ensamble

Desventajas

- Posible deslizamiento

2.3.2.3. Evaluación de alternativas para el módulo 2

Para la selección de alternativas del módulo 2 se seleccionan los criterios más influyentes:

- Fácil fabricación: determinar el sistema que puede ser fabricado mediante procesos tradicionales de maquinado.

- Seguridad: para seleccionar la alternativa que no permita la caída vertical del carro, evitando ocasionar daños al operario y al mecanismo.
- Fácil montaje: con respecto al sistema que pueda ser montado y desmontado más fácilmente.
- Tracción: determinar el sistema que garantice rodadura y fuerza para el avance.
- Costo: con respecto a la alternativa que represente una menor inversión.
- Durabilidad: para determinar el sistema que posea una mayor resistencia y no presente inconvenientes en la ejecución del proceso de soldadura.

La evaluación de los criterios que se presenta en la tabla 2.13 se lo realiza mediante el método de los residuos ponderados.

Tabla 2. 13: Evaluación de criterios para la selección de alternativas del módulo 2.

CRITERIO	Fácil fabricación	Seguridad	Fácil montaje	Tracción	Costo	Durabilidad	∑ + 1	Ponderación
Fácil fabricación		0	0,50	0,50	1,00	0,50	3,50	0,17
Seguridad	1,00		0,50	0	0,50	0,50	4,50	0,17
Fácil montaje	0,50	0,50		0	0,50	0,50	3,00	0,14
Tracción	0,50	1,00	1,00		0,50	0	3,00	0,19
Costo	0	0,50	0,50	0,50		1,00	3,50	0,17
Durabilidad	0,50	0	1,00	1,00	0		3,50	0,17
					SUMA		21,00	1,00

(Fuente: Propia)

Tracción > Seguridad = Fácil fabricación = Costo = Durabilidad > Fácil montaje

Se puede observar en la tabla 2.13 que el criterio de mayor influencia es la tracción, esto se debe a que el mecanismo no presenta deslizamiento, especialmente en posición vertical.

Cada alternativa respecto al criterio de fácil fabricación se evalúa en la tabla 2.14

Tabla 2. 14: Evaluación de las alternativas en función del criterio de fácil fabricación.

Criterio de fácil fabricación	Alternativa 1	Alternativa 2	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		0	1,00	0,33
Alternativa 2	1,00		2,00	0,67
Suma			3,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 2 > Alternativa 1

De acuerdo a la tabla 2.14 la mejor alternativa con respecto a fácil fabricación es la alternativa 2, debido a que los engranes requieren fabricación más compleja que las llantas de caucho.

En la tabla 2.15 se evalúa cada alternativa con respecto al criterio de seguridad.

Tabla 2. 15: Evaluación de las alternativas en función del criterio de seguridad.

Criterio de seguridad	Alternativa 1	Alternativa 2	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		1,00	2,00	0,67
Alternativa 2	0		1,00	0,33
Suma			3,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 1 > Alternativa 2

De acuerdo a la tabla 2.15 la mejor alternativa con respecto a seguridad es la alternativa 1, ya que el sistema piñón-cremallera presenta mayor confiabilidad por no presentar deslizamiento en la posición vertical.

En la tabla 2.16 se evalúa cada alternativa con respecto al criterio de fácil montaje.

Tabla 2. 16: Evaluación de las alternativas en función del criterio de fácil montaje.

Criterio de fácil montaje	Alternativa 1	Alternativa 2	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		0	1,00	0,33
Alternativa 2	1,00		2,00	0,67
Suma			3,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 2 > Alternativa 1

De acuerdo a la tabla 2.16 la mejor alternativa con respecto a fácil montaje es la alternativa 2, debido a que el equipo del laboratorio viene equipado con llantas de acero lo que implicaría únicamente reemplazarlas por llantas de caucho.

En la tabla 2.17 se evalúa cada alternativa con respecto al criterio de tracción.

Tabla 2. 17: Evaluación de las alternativas en función del criterio de tracción.

Criterio de tracción	Alternativa 1	Alternativa 2	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		1,00	2,00	0,67
Alternativa 2	0		1,00	0,33
Suma			3,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 1 > Alternativa 2

De acuerdo a la tabla 2.17 la mejor alternativa con respecto a tracción es la alternativa 1, ya que brinda mayor agarre y la transmisión de potencia es más eficiente en el sistema piñón-cremallera.

En la tabla 2.18 se evalúa cada alternativa con respecto al criterio de costo.

Tabla 2. 18: Evaluación de las alternativas en función del criterio de costo.

Criterio de costo	Alternativa 1	Alternativa 2	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		0	1,00	0,33
Alternativa 2	1,00		2,00	0,67
Suma			3,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 2 > Alternativa 1

De acuerdo a la tabla 2.18 la mejor alternativa con respecto a costo es la alternativa 2, debido a las llantas de caucho son un equipo que se puede encontrar en el mercado y no requiere procesos de maquinado.

En la tabla 2.19 se evalúa cada alternativa con respecto al criterio de durabilidad.

Tabla 2. 19: Evaluación de las alternativas en función del criterio de durabilidad.

Durabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
Suma			3	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 1 > Alternativa 2

De acuerdo a la tabla 2.19 la mejor alternativa con respecto a durabilidad es la alternativa 1, ya que el sistema piñón-cremallera puede ser fabricado con un material con buenas propiedades mecánicas y con el mantenimiento adecuado se puede lograr mayor tiempo de vida útil.

En la tabla 2.20 se presenta la prioridad de cada alternativa con respecto a la ponderación de cada criterio.

Tabla 2. 20: Conclusiones de las alternativas para el módulo 1.

Conclusiones	Fácil fabricación	Seguridad	Fácil montaje	Tracción	Costo	Durabilidad	∑	**Prioridad**
Solución 1	0,0556	0,1111	0,0476	0,1270	0,0556	0,1111	0,51	**1**
Solución 2	0,1111	0,0556	0,0952	0,0635	0,1111	0,0556	0,49	**2**

(Fuente: Propia)

En la tabla 2.20 se observa que la solución 1 cumple en mayor parte con los criterios de evaluación.

2.3.3. Módulo 3.- Sistema de movimiento transversal de la torcha

Este módulo cumple con la siguiente función:

- Realizar el movimiento transversal de la torcha para la elaboración del cordón.

A continuación, se presentan varias alternativas de soluciones a este módulo.

2.3.3.1. Alternativa 1.- Brazo hidráulico

Este sistema puede facilitar el levantamiento de masas grandes con la aplicación de pequeñas fuerzas. En la figura 2.8 se muestra un sistema de cilindro hidráulico.

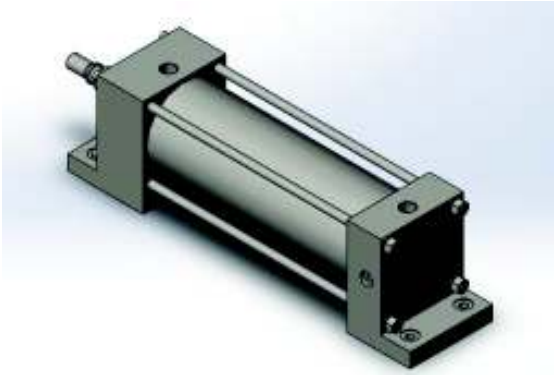


Figura 2. 8: Cilindro hidráulico.
(Fuente: Propia)

Ventajas

- Puede proveer movimiento lineal
- Gran capacidad de carga

Desventajas

- Requiere acumulador
- Bajas velocidades lineales
- Requiere mayor espacio para su instalación

2.3.3.2. Alternativa 2.- Brazo neumático

Transforma la energía de aire comprimido de una fuente de alimentación en movimiento lineal. En la figura 2.9 se muestra un cilindro neumático de movimiento lineal.

Figura 2. 9: Cilindro neumático de movimiento lineal.
(Fuente: DirectIndustry, 2018)

Ventajas

- Provee movimiento lineal
- Alta velocidad lineal

Desventajas

- Requiere acumulador
- Requiere mayor espacio para su instalación

2.3.3.3. Alternativa 3.- Brazo con cremallera y servo motor

Este sistema está incorporado por un servomotor que transmite el movimiento a una cremallera que funciona como brazo para el movimiento transversal como se muestra en la figura 2.10

Figura 2. 10: Sistema de brazo con cremallera y servo motor.

(Fuente: DEMERO, 2015).

Ventajas

- Fácil automatización.
- Precisión.

Desventajas

- Presenta mayor inversión que las alternativas 1 y 2 debido a que requiere fabricación

2.3.3.4. Evaluación de alternativas para el módulo 3

Para la selección de alternativas del módulo 3 se seleccionan los criterios más influyentes:

- Fácil fabricación: determinar el sistema que puede ser fabricado mediante procesos tradicionales de maquinado.
- Fácil control: para seleccionar la alternativa con mayor facilidad para la automatización.
- Fácil montaje: con respecto al sistema que pueda ser montado y desmontado con facilidad.
- Precisión: con respecto al sistema que permita el control con precisión en el movimiento.
- Costo: con respecto a la alternativa que presente una menor inversión.
- Consumo de energía: para determinar el sistema que presente un menor consumo de energía.

La evaluación de los criterios que se presenta en la tabla 2.21 se lo realiza mediante el método de los residuos ponderados.

Tabla 2. 21: Evaluación de criterios para la selección de alternativas del módulo 3.

CRITERIO	Fácil fabricación	Fácil control	Fácil montaje	Precisión	Costo	Consumo de energía	∑ + 1	Ponderación
Fácil fabricación		0	0,50	0	0,50	0,50	2,50	0,12
Fácil control	1,00		0,50	0,50	0,50	1,00	4,50	0,21
Fácil montaje	0,50	0,50		0	0,50	0,50	3,00	0,14
Precisión	1,00	0,50	1,00		0,50	0,50	4,50	0,21
Costo	0,50	0,50	0,50	0,50		0	3,00	0,14
Consumo de energía	0,50	0	0,50	0,50	1,00		3,50	0,17
					SUMA		21,00	1,00

(Fuente: Propia)

Precisión = Fácil control > Consumo de energía > Costo > Fácil montaje > Fácil fabricación

Se puede observar en la tabla 2.21 que el criterio de mayor influencia es la precisión, esto se debe a que este sistema debe controlar el movimiento transversal de la torcha con mayor precisión.

En la tabla 2.22 se va a evaluar cada alternativa con respecto al criterio de fácil fabricación.

Tabla 2. 22: Evaluación de las alternativas en función del criterio de fácil fabricación.

Criterio de fácil fabricación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		0,50	0	1,50	0,25
Alternativa 2	0,50		0	1,50	0,25
Alternativa 3	1,00	1,00		3,00	0,50
Suma				6,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 3 > Alternativa 2 = Alternativa 1

De acuerdo a la tabla 2.22 la mejor alternativa con respecto a fácil fabricación es la alternativa 3, ya que el acople necesario de esta alternativa que puede ser fabricado con procesos tradicionales de maquinado.

En la tabla 2.23 se va a evaluar cada alternativa con respecto al criterio de fácil control.

Tabla 2. 23: Evaluación de las alternativas en función del criterio de fácil control.

Criterio de fácil control	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		0,50	0	1,50	0,25
Alternativa 2	0,50		0	1,50	0,25
Alternativa 3	1,00	1,00		3,00	0,50
Suma				6,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 3 > Alternativa 2 = Alternativa 1

De acuerdo a la tabla 2.23 la mejor alternativa con respecto al criterio de fácil control es la alternativa 3, debido a que el servo motor puede ser controlado con una programación simple.

En la tabla 2.24 se va a evaluar cada alternativa con respecto al criterio de fácil montaje.

Tabla 2. 24: Evaluación de las alternativas en función del criterio de fácil montaje.

Criterio de fácil montaje	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		0,50	0	1,5	0,25
Alternativa 2	0,50		0	1,5	0,25
Alternativa 3	1,00	1,00		3,00	0,50
Suma				6,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 3 > Alternativa 2 = Alternativa 1

De acuerdo a la tabla 2.24 la mejor alternativa con respecto a fácil montaje es la alternativa 3, debido a que requiere menor espacio para su montaje.

En la tabla 2.25 se va a evaluar cada alternativa con respecto al criterio de precisión.

Tabla 2. 25: Evaluación de las alternativas en función del criterio de precisión.

Criterio de precisión	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		1,00	0	2,00	0,33
Alternativa 2	0		0	1,00	0,17
Alternativa 3	1,00	1,00		3,00	0,50
Suma				6,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 3 > Alternativa 1 > Alternativa 2

De acuerdo a la tabla 2.25 la mejor alternativa con respecto a precisión es la alternativa 3, ya que el servomotor permite realizar desplazamientos muy pequeños.

En la tabla 2.26 se va a evaluar cada alternativa con respecto al criterio de costo.

Tabla 2. 26: Evaluación de las alternativas en función del criterio de costo.

Criterio de costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1,00	0,17
Alternativa 2	1,00		0	2,00	0,33
Alternativa 3	1,00	1,00		3,00	0,50
Suma				6,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1

De acuerdo a la tabla 2.26 la mejor alternativa con respecto a costo es la alternativa 3, debido a que este sistema no requiere de un acumulador, ni mangueras para conexiones, y el acople necesario para esta alternativa puede ser fabricado fácilmente.

En la tabla 2.27 se va a evaluar cada alternativa con respecto al criterio de consumo de energía.

Tabla 2. 27: Evaluación de las alternativas en función del criterio de consumo de energía.

Criterio de consumo de energía	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	∑ + 1	Ponderación
Alternativa 1		1,00	0	2,00	0,33
Alternativa 2	0		0	1,00	0,17
Alternativa 3	1,00	1,00		3,00	0,50
Suma				6,00	1,00

(Fuente: Propia)

Alternativa 3 > Alternativa 1 > Alternativa 2

De acuerdo a la tabla 2.27 la mejor alternativa con respecto a consumo de energía es la alternativa 3, ya que este sistema puede trabajar con una fuente de 6 a 12 [V].

En la tabla 2.28 se presenta la prioridad de cada alternativa con respecto a la ponderación de cada criterio.

Tabla 2. 28: Conclusiones de las alternativas para el módulo 3.

Conclusiones	Fácil fabricación	Fácil control	Fácil montaje	Precisión	Costo	Consumo de energía	∑	**Prioridad**
Solución 1	0,02	0,05	0,03	0,07	0,02	0,05	0,27	**2**
Solución 2	0,02	0,05	0,03	0,03	0,04	0,02	0,23	**3**
Solución 3	0,05	0,10	0,07	0,10	0,07	0,08	0,50	**1**

(Fuente: Propia)

En la tabla 2.28 se observa que la solución 3 cumple en mayor parte con los criterios de evaluación.

2.3.4. Solución general del mecanismo

Con la selección de los módulos y siguiendo el diseño concurrente, en la figura 2.11 se presenta un esquema con las alternativas que cumplieron mayoritariamente los criterios de selección.

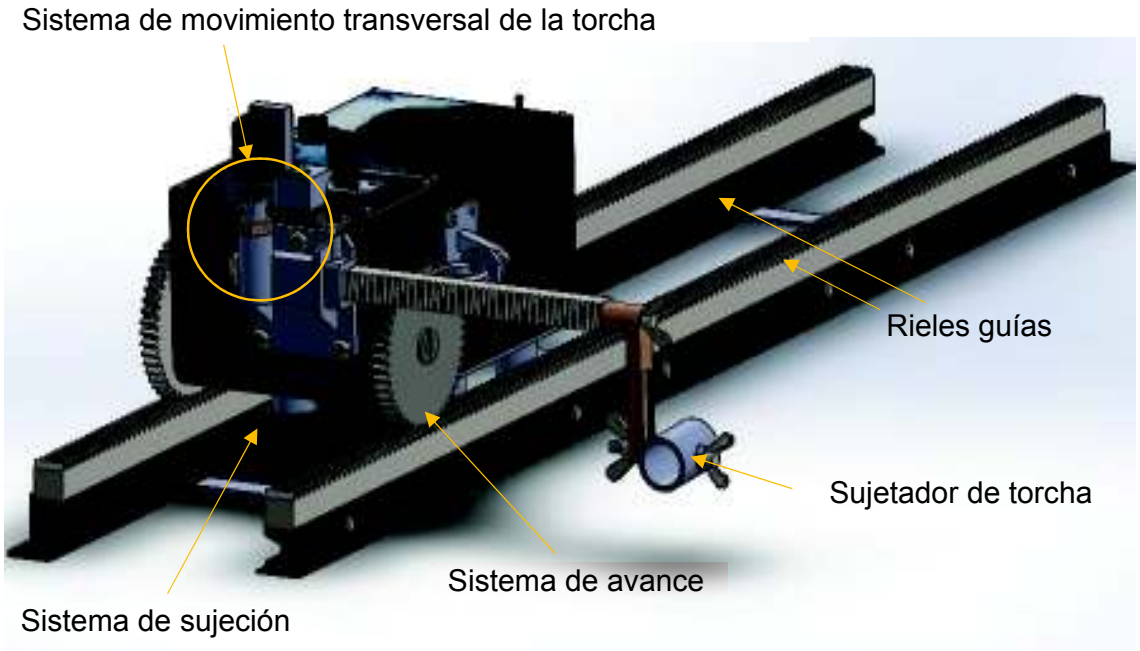


Figura 2. 11: Esquema del carro soldador automático para proceso GMAW.
(Fuente: Propia)

2.4. Diseño de elementos mecánicos

En este subcapítulo se va a realizar el análisis y dimensionamiento de los diferentes elementos mecánicos que intervienen en el mecanismo.

2.4.1 Diseño de engranes

Para permitir el desplazamiento del equipo se opta por incorporar un par de engranes con cremallera. Para el cálculo de los factores geométricos del engrane recto y el diseño mecánico se utilizará el método de la AGMA.

2.4.1.1. Parámetros geométricos del engrane

Para el diseño del engrane se selecciona un módulo $m = 2\ [mm]$, un ángulo de presión $\emptyset = 20°$ y un número de dientes $N_p = 48\ dientes$.

A continuación, se procede a calcular el diámetro de paso d_p mediante la expresión:

$$d_p = m.N_p \qquad \text{(Ec. 2. 1.)}$$

Donde:

m: $módulo\ [mm]$

N_p: $número\ de\ dientes$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.1 se tiene:

$$\boldsymbol{d_p = 96\ [mm]}$$

2.4.1.2. Determinación del paso base

En la figura 2.12 se puede observar un sistema piñón cremallera donde se indica el paso base P_b que representa una distancia constante entre ellos y la ecuación 2.2 lo relaciona con el paso circular.

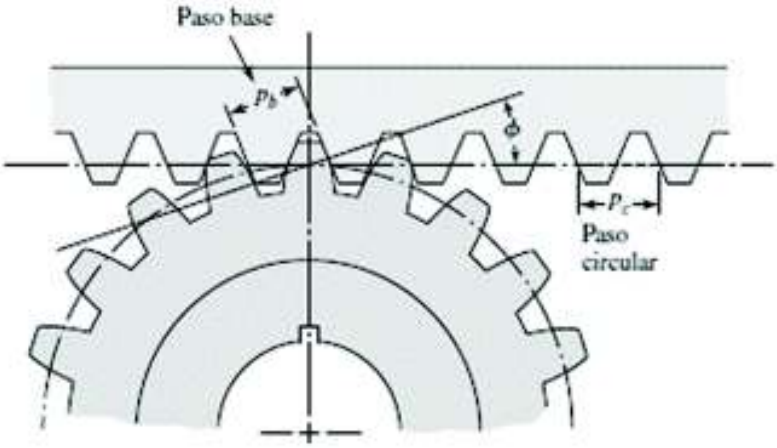


Figura 2. 12: Cremallera acoplada a un piñón.
(Fuente: Budynas & Nisbett, 2012)

$$P_b = P_C . cos\emptyset \qquad \text{(Ec. 2. 2.)}$$

Donde:

P_C: $paso\ circular\ [mm]$

$\emptyset$: $ángulo\ de\ presión$

El paso circular se calcula mediante la ecuación 2.3:

$$P_c = \pi . m \qquad \text{(Ec. 2. 3.)}$$

Entonces:

$$\boldsymbol{P_c = 6,28\ [mm]}$$

Reemplazando en la ecuación 2.2 tenemos:

$$\boldsymbol{P_b = 5,90\ [mm]}$$

2.4.1.3. Cálculo de la potencia transmitida

La potencia es el parámetro para el diseño del engrane que permite el avance en vertical, por lo que es necesario realizar una medición del peso total del equipo $P = 15\ [kg]$, el cual incluye el peso de las ruedas que serán reemplazadas por los engranes de peso similar.

De manera experimental se determina la velocidad angular $\omega = 0{,}45\ [rad/s]$, del equipo al que se va a adaptar el mecanismo.

La potencia P se obtiene mediante la ecuación 2.4:

$$P = T . \omega \qquad \text{(Ec. 2. 4.)}$$

Donde:

T: $torque\ [N.m]$

ω: $velocidad\ angular\ [rad/s]$

En el diagrama de cuerpo libre mostrado en la figura 2.13, se observa las fuerzas que actúan sobre el diente del engrane y el torque que van a permitir el cálculo de la potencia transmitida.

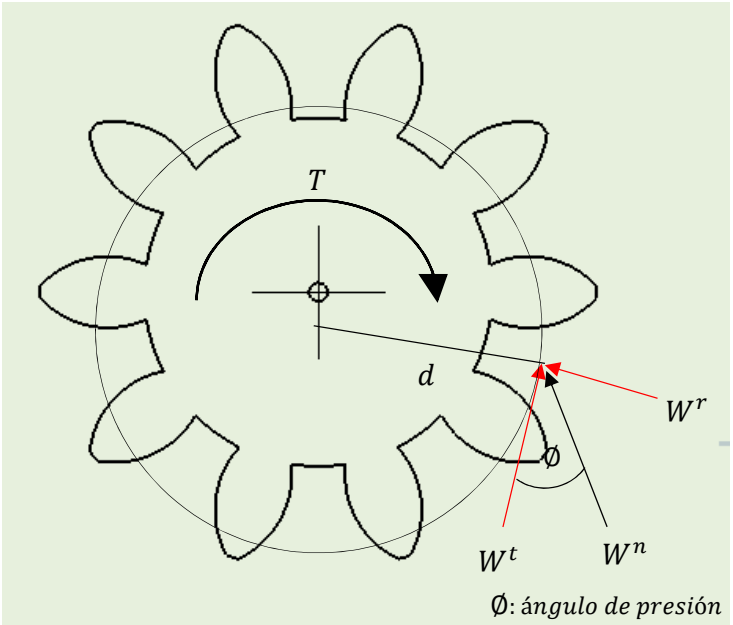


Figura 2. 13: Diagrama de cuerpo libre del engrane.
(Fuente: Propia)

Conociendo que son dos engranes del carro soldador y que la fuerza total W^n que va a soportar el diente es:

$$W^n = 7{,}5\ [kg].9{,}81\ \left[\frac{m}{s^2}\right] = 73{,}58\ [N]$$

Se procede a calcular la carga tangencial W^t y carga radial W^r transmitidas. De la figura 2.13 se obtiene las ecuaciones 2.5 y 2.6:

$$W^t = W^n.cos\emptyset \qquad \text{(Ec. 2. 5.)}$$

$$W^r = W^t.tan\emptyset \qquad \text{(Ec. 2. 6.)}$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$\boldsymbol{W^t = 69,14\ [N]}$$

$$\boldsymbol{W^r = 25,17\ [N]}$$

Para el cálculo del torque se usa la siguiente ecuación 2.7:

$$T = W^t.r_p \qquad \text{(Ec. 2. 7.)}$$

Donde:

W^t: $fuerza\ tangencial\ transmitida\ [N]$

r_p: $radio\ de\ paso$

Se obtiene:

$$\boldsymbol{T = 3,3\ \ 2[N.m]}$$

Finalmente reemplazando los valores en la ecuación 2.4 se obtiene la potencia que va a transmitir cada engrane de:

$$\boldsymbol{P = \ 1,49\ [W]}$$

2.4.1.4. Número de ciclos de carga

Para determinar el número de ciclos de carga se va a considerar que el equipo va a trabajar 20 veces por semana, el radio del engrane es de 48 [mm] y la cremallera tendrá 1 [m] de longitud como se indicó en la tabla 2.3 (especificaciones técnicas). Entonces el número de ciclos N por semana será:

$$N = \frac{1000[mm]}{2.\pi.(48[mm])}.20 = 66{,}31\ cilclos/semana$$

Si la vida útil del equipo es de 20 años entonces:

$$N = 66{,}31\left[\frac{ciclos}{semana}\right].[1040\ semanas]$$

$$N = \ 68967\ ciclos$$

Por lo tanto, se va a diseñar para:

$$\boldsymbol{N = \ 10^5 ciclos}$$

2.4.1.5. Selección del material del engrane

El material seleccionado para el engrane es el acero laminado en frío AISI 1045 de grado 2 y dureza 179 HB.

Los valores de la resistencia a la fatiga por flexión S_t y la resistencia a la fatiga por contacto S_c se determinan mediante las ecuaciones 2.8 y 2.9:

$$S_t = 0{,}703H_B + 113MPa \qquad \text{(Ec. 2. 8.)}$$

$$S_c = 2{,}41H_B + 237MPa \qquad \text{(Ec. 2. 9.)}$$

De aquí se obtiene:

$$\boldsymbol{S_t = 23\ 884\ [MPa]}$$

$$\boldsymbol{S_c = 668{,}3\ 9[MPa]}$$

2.4.1.6. Esfuerzo de flexión permisible

El esfuerzo de flexión permisible σ_{perm} en el método AGMA se calcula mediante la ecuación 1.3 ver tabla 1.1:

Donde:

Para 10^5 ciclos de carga el factor de ciclos de esfuerzo es:

$$\boldsymbol{Y_N = 1{,}5}$$

Si la temperatura de operación es menor a 120° [C] entones el factor de temperatura es:

$$\boldsymbol{K_T = 1}$$

Para una confiabilidad de 90% se considera:

$$\boldsymbol{K_R = 0{,}85}$$

Entonces:

$$\boldsymbol{\sigma_{perm} = 421{,}48\ [MPa]}$$

2.4.1.7. Cálculo del esfuerzo de flexión

En base al método AGMA la ecuación 1.4 permite determinar el esfuerzo de flexión σ, ver tabla 1.1.

Por razones de fabricación se elige un ancho de cara:

$$\boldsymbol{F = 10\ [mm]}$$

El factor de sobrecarga es:

$$\boldsymbol{K_o = 1}$$

El factor dinámico es:

$$K_v = \left(\frac{A + \sqrt{200V}}{A}\right)^B \qquad \text{(Ec. 2. 10.)}$$

Donde:

V: $velocidad\ de\ línea\ de\ paso\ [m/s]$

$$V = 0.022\ [m/s]$$

$$A = 50 + 56(1 - B) \qquad \text{(Ec. 2. 11.)}$$

$$B = 0{,}25(12 - Q_v)^{2/3} \qquad \text{(Ec. 2. 12.)}$$

Estas ecuaciones se basan en el número de control de calidad Q_v, para engranes de calidad comercial los valores están entre 3 y 7. Para el cálculo del factor dinámico se considera $Q_v = 5$ (Budynas & Nisbett, 2012).

Reemplazando este valor se tiene:

$$B = 0{,}915$$

$$A = 54{,}76$$

Reemplazando en la ecuación 2.10:

$$\boldsymbol{K_v = 1{,}03\ \ 1}$$

El factor de tamaño K_s corresponde a la ecuación 2.13:

$$K_s = 1{,}192.\left(\frac{F\sqrt{Y}}{P_d}\right)^{0{,}0535} \qquad \text{(Ec. 2. 13.)}$$

Donde:

$Y: factor\ de\ Lewis$

$P_d: paso\ diametral\ [dientes/mm]$

Para 48 dientes se tiene que el factor de Lewis es:

$$\boldsymbol{Y = 0,405}$$

El paso diametral P_d es:

$$\boldsymbol{P_d = 0,5\ [\frac{dientes}{mm}]}$$

Reemplazando los valores en pulgadas en la ecuación 2.13 se tiene un factor de tamaño menor a 1, por lo tanto:

$$\boldsymbol{K_s = 1}$$

El factor de distribución de carga depende de 5 factores como se muestra en la ecuación 2.14:

$$K_m = 1 + C_{mc}(C_{pf}C_{pm} + C_{ma}C_e) \qquad \text{(Ec. 2. 14.)}$$

Donde:

Para dientes sin coronar: $C_{mc} = 1$

$$C_{pf} = \frac{F}{10d_p} - 0{,}025 \qquad \text{(Ec. 2. 15.)}$$

Para $\frac{F}{10d_p} < 0{,}05$ se usa $\frac{F}{10d_p} = 0{,}05$ (Budynas & Nisbett, 2012).

Entonces:

$$C_{pf} = 0{,}025$$

Para piñón montado inmediatamente adyacente: $C_{pm} = 1$

$$C_{ma} = A + BF + CF^2 \qquad \text{(Ec. 2. 16.)}$$

Para unidades comerciales, cerradas:

$$A = 0{,}127$$

$$B = 0{,}0158$$

$$C = -0{,}930(10)^{-4}$$

Entonces reemplazando en la ecuación 2.16:

$$\boldsymbol{C_{ma} = 0,285}$$

Para todas las condiciones: $C_e = 1$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.14 tenemos:

$$\boldsymbol{K_m = 1,3\ \ 1}$$

El factor de espesor del aro K_B, suponiendo espesor constante se considera:

$$\boldsymbol{K_B = 1}$$

El factor geométrico J de resistencia a la flexión es (Budynas & Nisbett, 2012):

$$\boldsymbol{J = 0,42}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 1.4:

$$\boldsymbol{\sigma = 11,15\ [MPa]}$$

2.4.1.8. Cálculo del factor de seguridad en flexión

El factor de seguridad S_F que permite analizar la falla por fatiga en flexión es:

$$S_F = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma} \qquad \text{(Ec. 2.17.)}$$

$$S_F = \frac{421{,}48\ [MPa]}{11{,}15\ [MPa]}$$

$$\boldsymbol{S_F = 3\ \ 780}$$

2.4.1.9. Cálculo del esfuerzo de contacto permisible

Para determinar el esfuerzo de contacto permisible en la metodología AGMA se emplea la ecuación 1.5 ver tabla 1.1.

Donde el factor de ciclos de esfuerzos de resistencia a la picadura Z_n, se determina mediante la ecuación 2.18 (Budynas & Nisbett, 2012):

$$Z_n = 2{,}466N^{-0{,}056} \qquad \text{(Ec. 2.18.)}$$

Donde:

$$\boldsymbol{Z_n = 1,29}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 1.5:

$$\boldsymbol{\sigma_{c,perm} = 1014,3\ 8[MPa]}$$

2.4.1.10. Cálculo del esfuerzo de contacto

Para el cálculo del esfuerzo de contacto σ_c se utiliza la ecuación 1.6 ver tabla 1.1.

Donde:

Para acero el coeficiente elástico es:

$$\boldsymbol{C_p = 191\ [MPa]}$$

El factor de condición superficial es:

$$\boldsymbol{C_f = 1}$$

El factor geométrico de resistencia superficial I se calcula mediante la ecuación 2.19:

$$I = \frac{cos\emptyset . sen\emptyset}{2m_N} . \frac{m_G}{m_G + 1} \qquad \text{(Ec. 2.19.)}$$

Donde:

m_N: $relación\ de\ repartición\ de\ carga$

m_G: $relación\ de\ velocidades$

Para engranes rectos la relación de repartición de carga es:

$$m_N = 1$$

Para determinar la relación de velocidades m_G se emplea la siguiente ecuación 2.20:

$$m_G = \frac{N_p}{n} \qquad \text{(Ec. 2. 20.)}$$

Donde el número de dientes de la cremallera por centímetro n es:

$$n = 2$$

Entonces:

$$m_G = 19$$

Y reemplazando los valores en la ecuación 2.19 tenemos:

$$\boldsymbol{I = 0,15}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 1.6:

$$\boldsymbol{\sigma_c = 211,24\ [MPa]}$$

2.4.1.11. Cálculo del factor de seguridad del desgaste por contacto

Para determinar el factor de seguridad del desgaste por contacto S_H se emplea la ecuación 2.21:

$$S_H = \frac{\sigma_{c,perm}}{\sigma_c} \qquad \text{(Ec. 2.21.)}$$

$$S_H = \frac{1014{,}38\ [MPa]}{211{,}24\ [MPa]}$$

$$\boldsymbol{S_H = 4,80}$$

2.4.1.12. Comparación de los factores de seguridad

En la metodología AGMA para determinar el tipo de falla de mayor riesgo para la función se debe comparar S_F con $S^2{}_H$ (Budynas & Nisbett, 2012).

Entonces:

$S_F = 37{,}80$

$S^2{}_H = 23{,}04$

$$\boldsymbol{S_F > S^2{}_H}$$

Lo que nos indica que la mayor probabilidad de falla del engrane es por desgaste por contacto.

2.4.2. Selección de rodamiento

Para el sistema de sujeción del mecanismo se optó por incorporar un rodamiento en cada rueda, esto para asegurar una mejor rodadura en el momento en que las ruedas entren en contacto con las guías.

Para la selección del rodamiento es necesario encontrar la carga axial y la carga radial, por lo cual es necesario determinar las fuerzas aplicadas al mecanismo que se detallan en la tabla 2.29 y se pueden visualizar en la figura 2.14 y 2.15.

Donde las fuerzas que deseamos encontrar son las fuerzas: la fuerza F_5 la cual se muestra en la figura 2.16 y la fuerza F_6 que se muestra en la figura 2.17.

Tabla 2. 29: Tabla de fuerzas aplicadas al mecanismo.

N°	Descripción	Magnitud [N]
F_1	Peso de la torcha de soldadura	12,75
F_2	Peso de articulación del brazo	3,43
F_3	Peso de cremallera para movimiento trasversal	6,87
F_4	Peso del mecanismo	124,10

(Fuente: Propia)

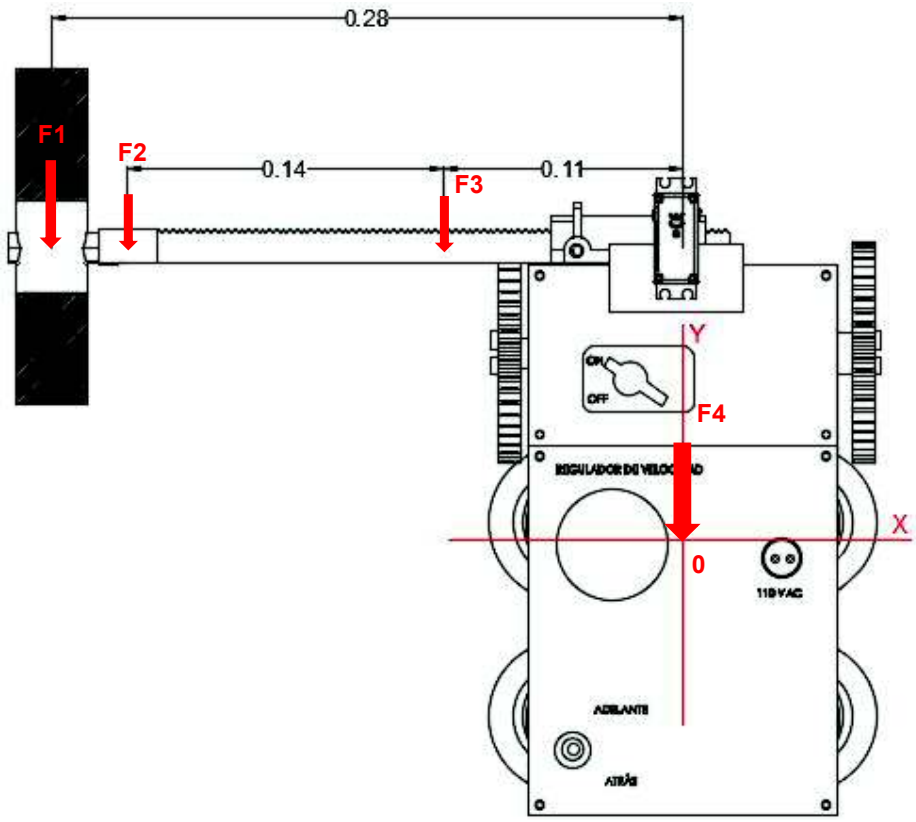


Figura 2. 14: Vista en plano x-y del mecanismo con fuerzas aplicadas.
(Fuente: Propia)

Se procede a realizar el traslado de cada una de las fuerzas indicadas en la figura 2.14 a un punto 0.

$$F_T = \sum_{i=1}^{n} F_i \qquad \text{(Ec. 2.22.)}$$

$$M_{To} = \sum_{i=1}^{n} M_{Tio} \qquad \text{(Ec. 2. 23.)}$$

Donde:

F_T: $Fuerza\ total\ trasladada$

M_{To}: $Momento\ resultante\ del\ traslado\ de\ las\ fuerzas$

Se obtienen los siguientes resultados:

$$F_{Txy} = -147{,}15\,\boldsymbol{j}\ [N]$$

$$M_{Toxy} = 5{,}20\,\boldsymbol{k}\ [N/m]$$

En la figura 2.15 se determina la fuerza y momento equivalente en el plano z-y.

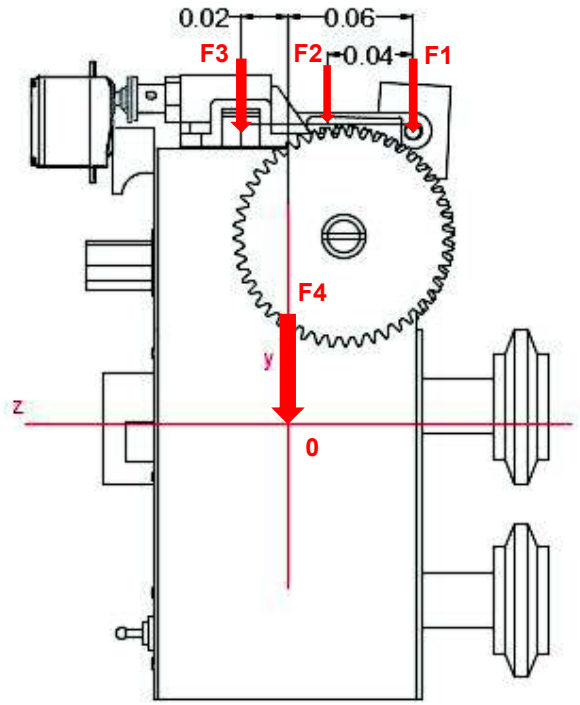


Figura 2. 15: Diagrama de mecanismo plano z-y.
(Fuente: Propia)

Se obtiene los siguientes resultados:

$$F_{Tzy} = -147{,}15\,\boldsymbol{j}\ [N]$$

$$M_{Tozy} = -0{,}70\,\boldsymbol{i}\ [N/m]$$

La fuerza y momento total equivalente en el punto 0, teniendo en cuenta que, la fuerza $F_T = F_{Tzy} = F_{Txy}$ ya que es una misma fuera visualizada en diferentes planos, entonces como resultado tenemos:

$$F_T = -147{,}15\,\boldsymbol{j}\ [N]$$

$$M_{To} = -\,0{,}70\,\boldsymbol{i} + 5{,}20\,\boldsymbol{k}\ [N/m]$$

Partiendo del momento generado debido al traslado de las fuerzas, se determina mediante la ecuación 2.24 el par de fuerzas equivalentes para obtener un momento unitario ***k*** como se muestra en la figura 2.16

$$|M| = |F|\ x\ d \qquad \text{(Ec. 2.24.)}$$

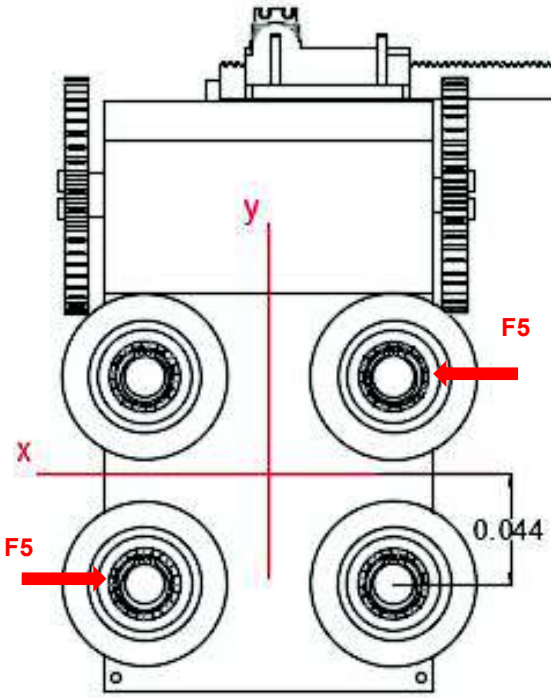


Figura 2. 16: Esquema de fuerzas equivalentes para momento con unitario k.
(Fuente: Propia)

A partir de la ecuación 2.24 se obtiene:

$$|\boldsymbol{F_5}| = 58{,}97\ [N]$$

De forma similar el momento unitario ***i***, se utiliza para determinar el par de fuerzas equivalentes que actúan sobre los rodamientos como se muestra en la figura 2.17

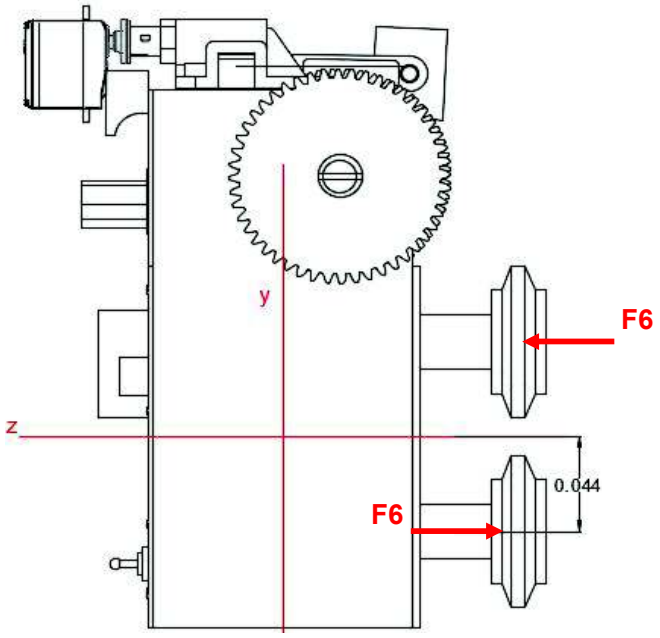


Figura 2. 17: Esquema de fuerzas equivalentes para el momento con unitario i.
(Fuente: Propia)

A partir de la ecuación 2.24 se obtiene:

$$|\boldsymbol{F_6}| = 3{,}97\ [N]$$

Dado que las cargas axial y radial son relativamente pequeñas, se escoge un rodamiento rígido de una hilera de bolas como se muestra en la figura 2.18

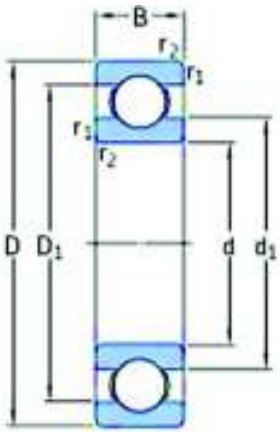


Figura 2. 18: Esquema de dimensiones de rodamiento.
(Fuente: SKF, 2015)

Teniendo en cuenta además que la velocidad de trabajo del rodamiento es baja, se elige un rodamiento con las características que se muestran en la tabla 2.30

Tabla 2. 30: Características de rodamiento seleccionado.

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	Dinámica C	Estática C_0	P_u	Referencia	límite		
mm			kN		kN	r.p.m		Kg	-
17	40	12	9,95	4,75	0,2	38000	24000	0,065	6203

(Fuente: SKF, 2015)

Partiendo del criterio del fabricante del rodamiento (SKF, 2015). Al estar el rodamiento sometido a velocidades de giro bajas, el cálculo de vida útil se lo realiza mediante el cálculo de capacidad de carga, definiendo a la carga estática del rodamiento como la carga dinámica básica del rodamiento, como se muestra en la ecuación 2.25.

$$C_0 = s_0\, C \qquad \text{(Ec. 2.25.)}$$

Donde:

$C_0 = capacidad\ de\ carga\ estática\ básica\ [kN]$

$C = capacidad\ estática\ equivalente\ del\ rodamiento\ [kN]$

$s_0 = factor\ de\ seguridad\ estático\ [kN]$

Teniendo como resultado:

$$\boldsymbol{s_0} = 0.5$$

El valor referencial según el catálogo SKF para el factor de seguridad es de 0.4 para un funcionamiento suave sin vibración, entonces por tener un factor de seguridad mayor al requerido se concluye que la selección del rodamiento es óptima.

2.5. Diseño del sistema de control

Una vez calculados los elementos mecánicos para el movimiento de avance y sujeción del mecanismo, en este subcapítulo se presenta el circuito electrónico utilizado y la programación del microcontrolador Arduino nano para el movimiento transversal de la

torcha de soldadura. En la tabla 2.31 se detalla los elementos utilizados para la elaboración del circuito.

Tabla 2. 31: Elementos utilizados para la elaboración del circuito.

Elemento	Características	Cantidad	Símbolo
Arduino	Nano	1	
LCD	2 x 16	1	
Potenciómetro	100 kΩ	3	
Resistencia	330Ω	1	
Pulsadores	2 pines	2	
Capacitores cerámicos	0,2 µF	2	
Servomotor	Capacidad 6,5 Kg	1	
Batería lip	7,5 V	1	

(Fuente: Propia)

A continuación, se presenta en la figura 2.19 y 2.20 el diagrama del circuito electrónico final a implementar en el mecanismo.

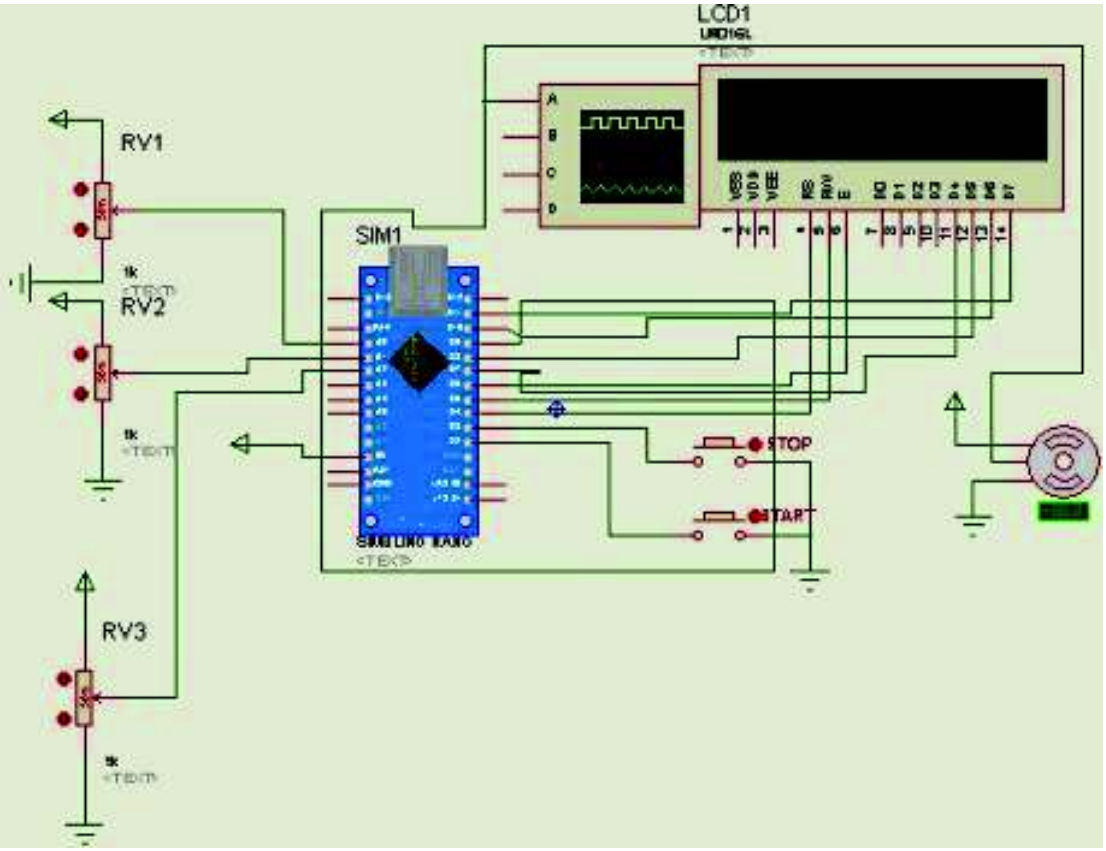


Figura 2. 19: Esquema del circuito de control para desplazamiento de la torcha.
(Fuente: Propia)

Finalmente, en el anexo 2 se presenta el código de programación para el microcontrolador arduino, que permite realizar el movimiento transversal de la torcha mediante tres potenciómetros, que controlan velocidad, posición inicial y ancho del cordón de soldadura entre un rango de 0 a 1.5 cm.

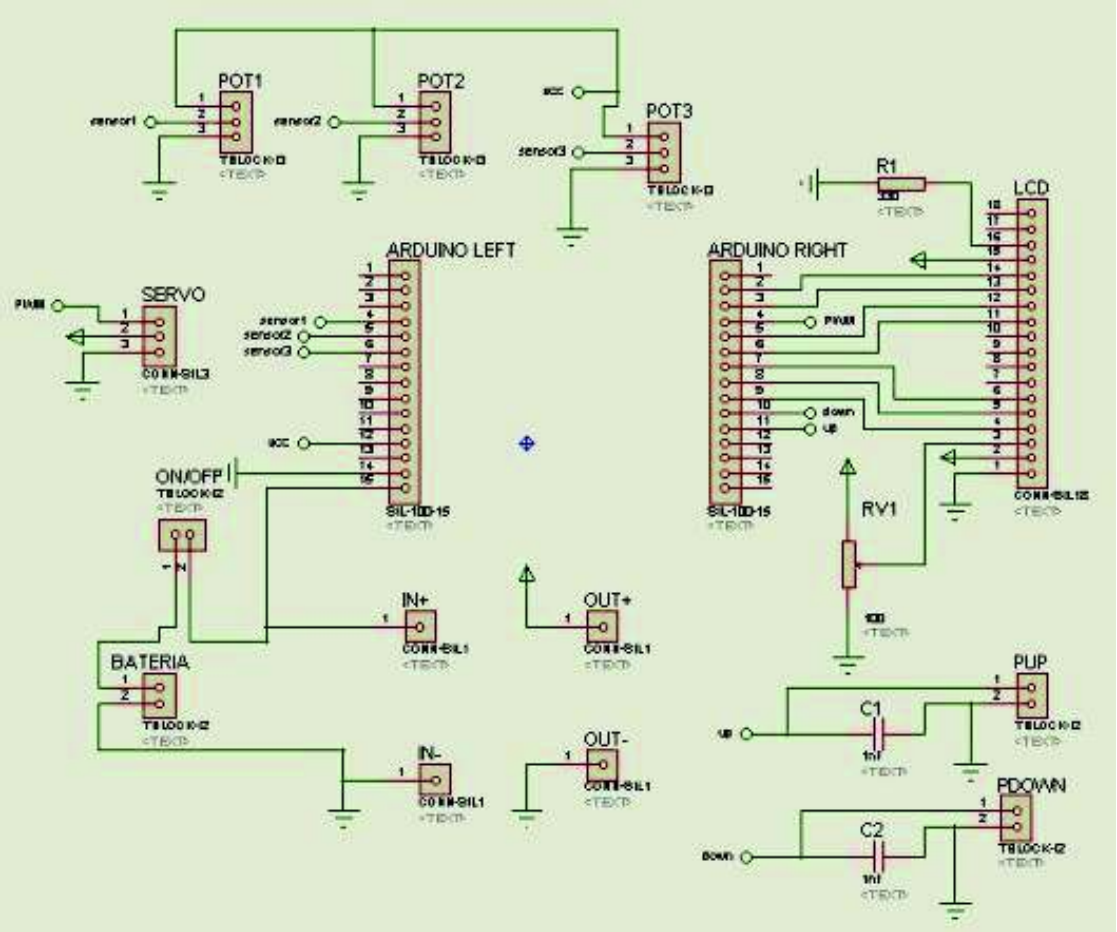


Figura 2. 20: Detalle de circuito de control.
(Fuente: Propia)

2.6. Construcción

Con la selección y cálculo de los elementos mecánicos y electrónicos presentados en los subcapítulos anteriores, se procede a realizar la construcción y montaje de cada una de las partes que conforman el mecanismo para automatizar el proceso GMAW.

Además, en este subcapítulo se detalla el análisis de costos de los procesos de fabricación y del material empleados en la construcción.

2.6.1. Elaboración de planos

Los planos de conjunto y taller del mecanismo y sus componentes mecánicos se presentan en el anexo 3

2.6.2. Construcción del sistema de sujeción

Este sistema se presenta en la figura 2.21 y es el que permite que el mecanismo permanezca sujeto a los rieles cuando se realice el proceso de soldadura en posición vertical. La tabla 2.32 presenta los elementos a construirse y el material seleccionado.

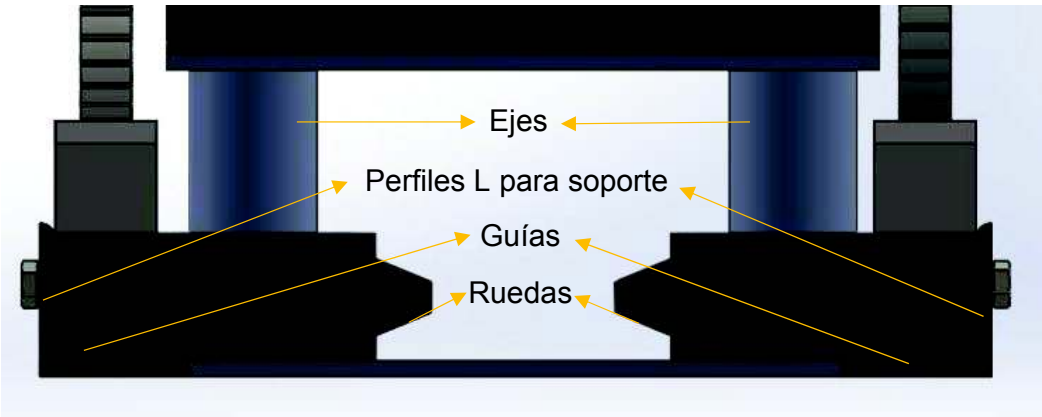


Figura 2. 21: Sistema de sujeción del mecanismo y sus componentes.
(Fuente: Propia)

Tabla 2. 32: Elementos a construirse para el sistema de sujeción.

Elemento	Material	Descripción	Cantidad
Guías	Duralon	20x25x1000[mm]	2
Perfiles L para soporte	Acero	ASTM A36 30x30x 1/8''x1000[mm]	2
Ejes	Acero	AISI 1045 ø25x52[mm]	4
Ruedas	Duraloçn	ø80x120[mm]	4

(Fuente: Propia)

2.6.2.1. Construcción de guías

La construcción de las guías se realiza mediante el proceso de fresado. Debido a la longitud requerida, es necesario dividir en 3 partes cada metro de guía, para que las dimensiones sean más exactas. En la figura 2.22 se muestran las dimensiones y forma cada una de las guías.

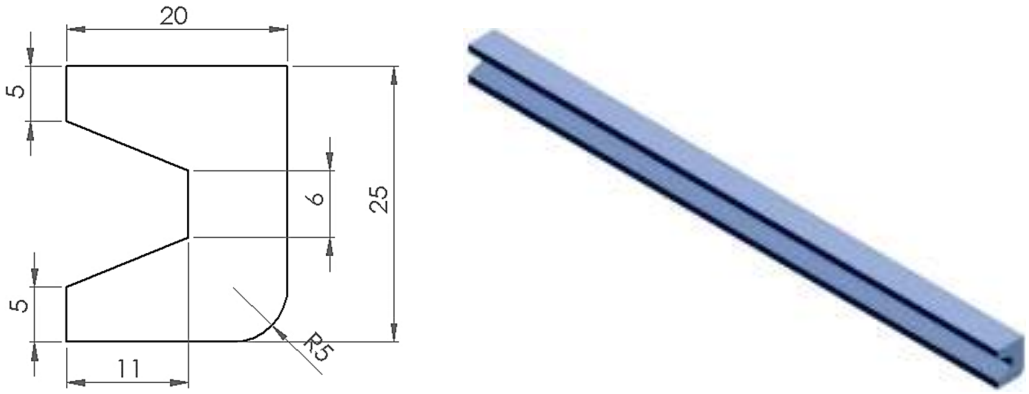


Figura 2. 22: Guías para la sujeción del mecanismo.
(Fuente: Propia)

2.6.2.2. Perfiles para soporte

Considerando las dimensiones de las cremalleras y de las guías se opta por incorporar dos perfiles en L de 30 x 30 x 3.2 mm de 1 [m] de longitud cada uno, que servirán como base y soporte del sistema de anclaje de guías. En la figura 2.23 se observa un esquema del perfil seleccionado.

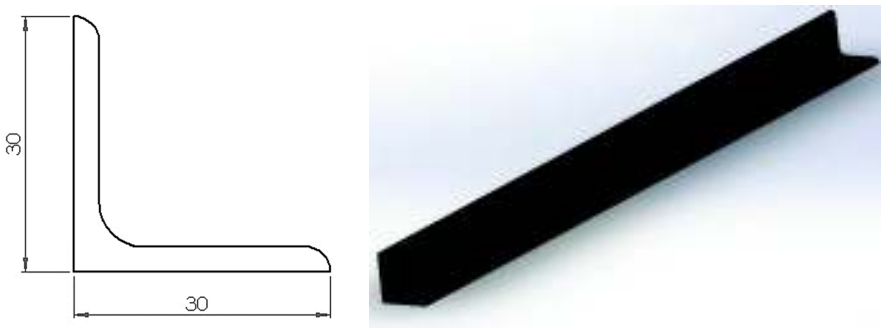


Figura 2. 23: Perfil del sistema de anclaje de guías.
(Fuente: Propia)

2.6.2.3. Construcción de ejes

La construcción de los ejes para las ruedas se lo realizó mediante torneado. En la figura 2.24 se muestra un esquema del elemento a construirse.

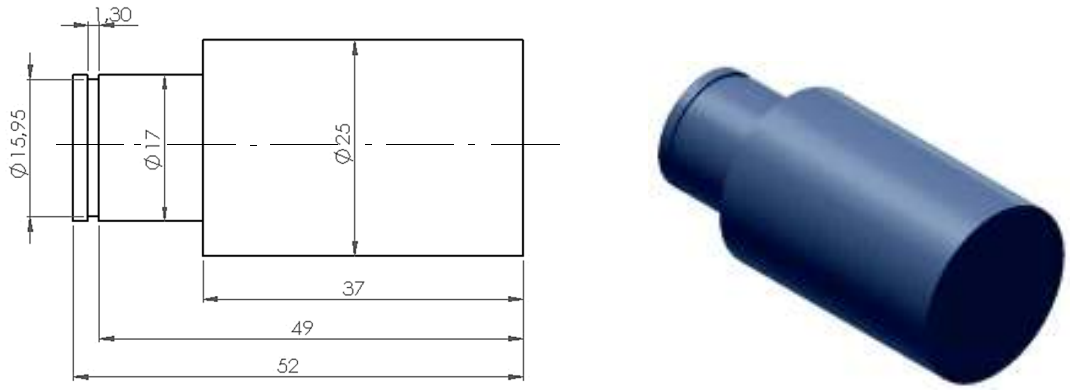


Figura 2. 24: Esquema del eje para la rueda del sistema de sujeción.
(Fuente: Propia)

2.6.2.4. Construcción de las ruedas

Las ruedas se realizarán mediante un proceso de torneado. La figura 2.25 muestra un esquema con las dimensiones de las ruedas para las guías del sistema de sujeción.

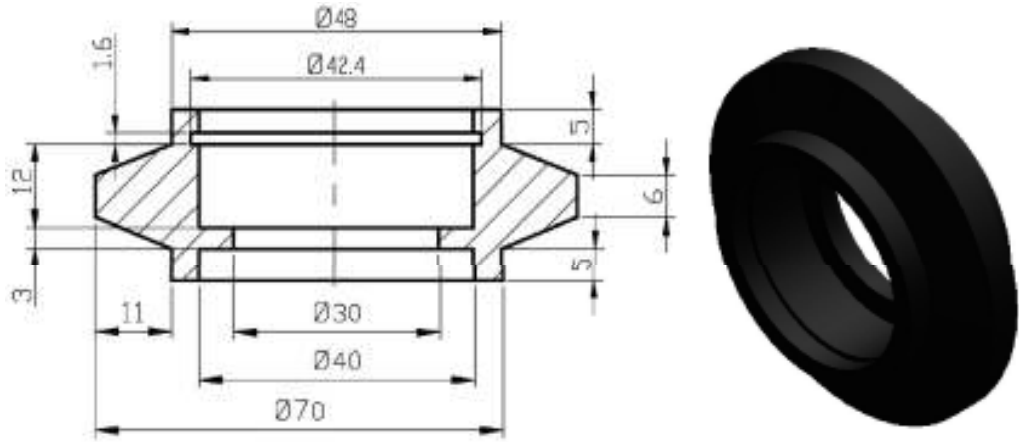


Figura 2. 25: Rueda del sistema de sujeción.
(Fuente: Propia)

2.6.3. Construcción del sistema de avance lineal

Este sistema se presenta en la figura 2.26 y es el que va a permitir el avance lineal del mecanismo y consta de dos elementos. La tabla 2.33 detalla el material seleccionado, descripción y cantidad.

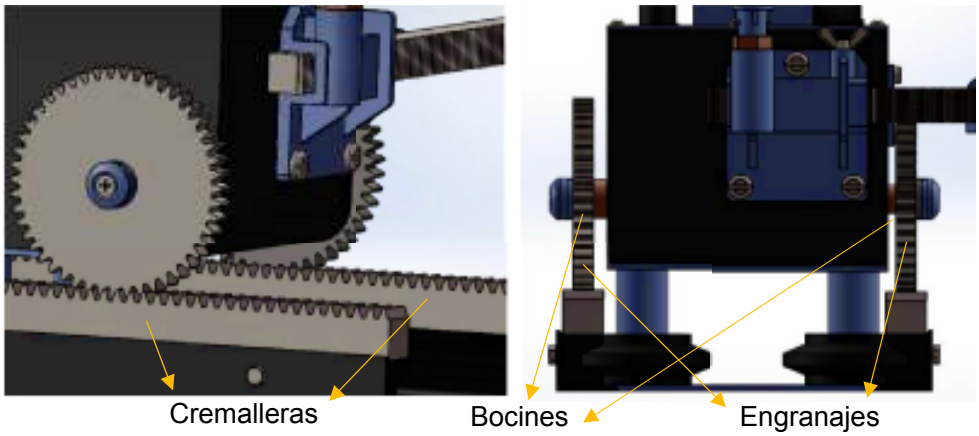


Figura 2. 26: Sistema de avance lineal del mecanismo y sus componentes.
(Fuente: Propia)

Tabla 2. 33: Elementos a construirse para el sistema de avance lineal.

Elemento	Material	Descripción	Cantidad
Cremalleras	Acero	AISI 1045 20x25x1000[mm]	2
Engranaje	Acero	AISI 1045 ø101x10[mm]	2
Bocín	Acero	AISI 1045 ø14x10x5[mm]	1
		AISI 1045 ø19x15x8[mm]	

(Fuente: Propia)

2.6.3.1. Construcción de las cremalleras

Para la construcción de las cremalleras se utiliza un proceso de fresado con fresa de disco y módulo 2. El tiempo de mecanizado es de aproximadamente 3 [min] por diente. En la figura 2.27 se presenta un esquema donde se puede observar la cremallera a construirse.

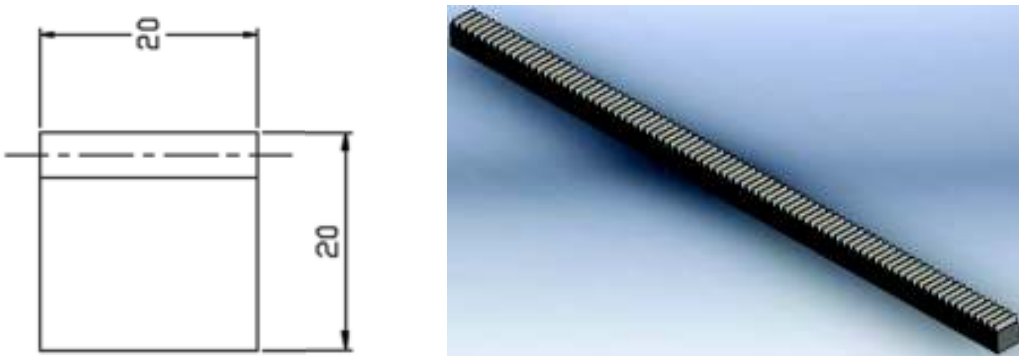


Figura 2. 27: Cremalleras del sistema de anclaje de guías.
(Fuente: Propia)

2.6.3.2. Construcción de los engranajes

La construcción de los engranajes se realiza mediante el proceso de fresado con fresa de disco y módulo 2. En la figura 2.28 se muestra un esquema del elemento a construir.

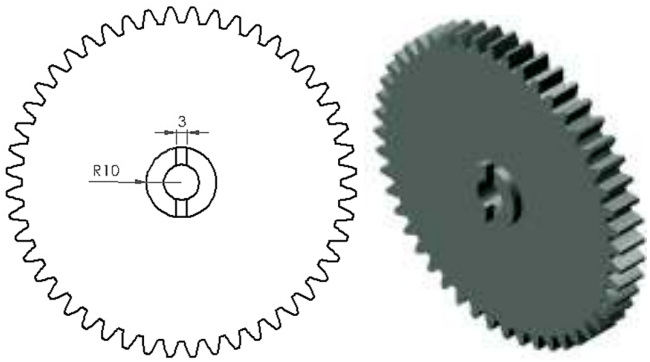


Figura 2. 28: Engranaje del sistema de avance lineal.
(Fuente: Propia)

2.6.3.3. Construcción de los bocines

Para evitar de rozamiento de los engranajes con la carcasa se incorporan dos bocines de acero que se van a construir mediante un proceso de torneado. Un esquema de este bocín con sus dimensiones se muestra en la figura 2.29.

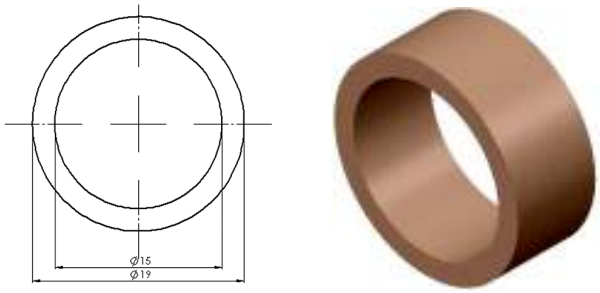


Figura 2. 29: Bocín del sistema de avance lineal.
(Fuente: Propia)

2.6.4. Construcción del sistema para movimiento transversal de la torcha

Este sistema se presenta en la figura 2.30 y sus elementos que forman parte de este sistema y el material están detallados en la tabla 2.34.

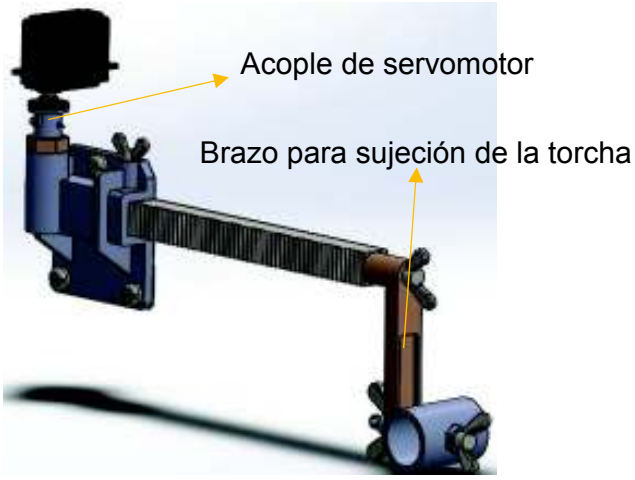


Figura 2. 30: Sistema de movimiento transversal de la torcha y sus componentes.
(Fuente: Propia)

Tabla 2. 34: Elementos del sistema para movimiento transversal de la torcha.

Elemento	Material	Descripción	Cantidad
Acople de servomotor	Aluminio	ø20x15[mm]	1
Brazo para sujeción de torcha	Bronce	78x16x9[mm]	1
Placa de control	---------	70x40[mm]	1
Carcasa para placa de control	Plástico	120x145[mm]	1

(Fuente: Propia)

2.6.4.1. Construcción del acople para el servomotor

La construcción del acople se lo realiza mediante el proceso de torneado. La figura 2.31 muestra un esquema de la pieza a construir.

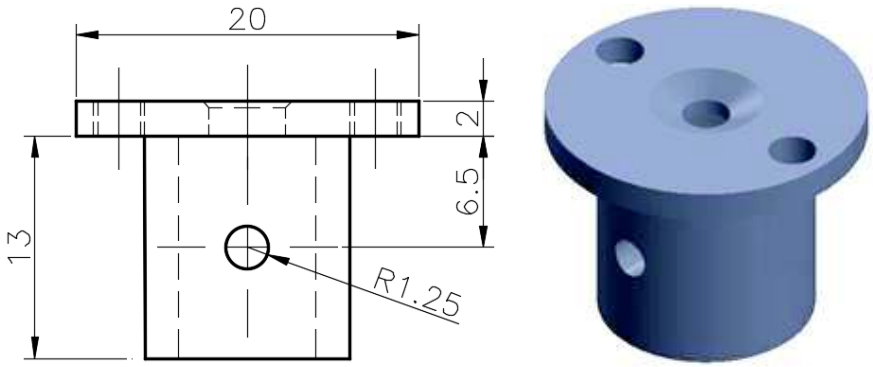


Figura 2. 31: Acople para servomotor del sistema de movimiento transversal de la torcha
(Fuente: Propia)

2.6.4.2. Construcción del brazo para sujeción de torcha

Para la construcción de esta pieza se realizó los procesos de taladrado, soldadura y pulido debido a este elemento estaba desgastado y fracturado. En la figura 2.32 se muestra un esquema del elemento a construir.

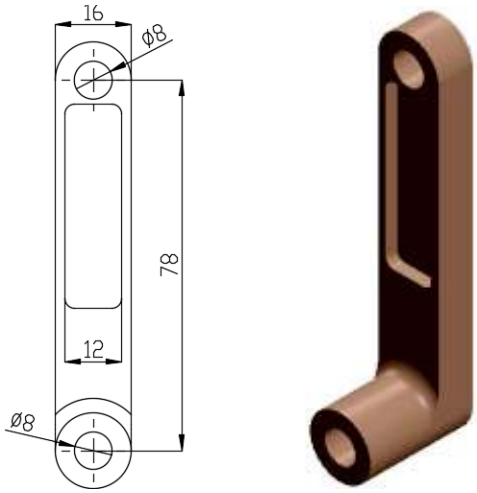


Figura 2. 32: Brazo para sujeción de torcha.
(Fuente: Propia)

2.6.4.3. Construcción de la placa de control

El primer paso para la construcción de la placa electrónica es el diseño de esta que se puede observar en la figura 2.33.

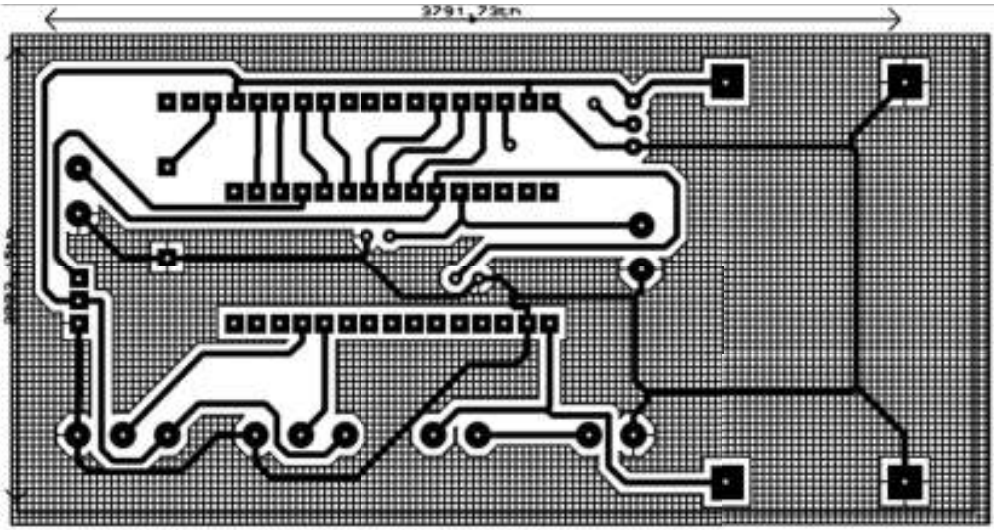


Figura 2. 33: Diseño de la placa de control.
(Fuente: Propia)

Mediante la aplicación de calor se imprimir el diseño en la placa, después se realiza el ataque químico, imprimiendo así el diseño requerido en la baquelita. Finalmente se deben soldar mediante cautín y estaño los elementos electrónicos.

En la figura 2.34 se puede observar la placa electrónica terminada para el sistema de control.

Figura 2. 34: Placa electrónica para el sistema de control del movimiento transversal de la torcha.
(Fuente: Propia)

2.6.4.4. Construcción de la carcasa para la placa electrónica

Para proteger la placa electrónica e incorporar el mando de control del mecanismo, se realiza una carcasa fabricada mediante impresión 3D. El diseño de la carcasa se lo presenta en la figura 2.35, donde se puede observar que el mando controlará el encendido del arco de la torcha, el ancho de cordón, la velocidad transversal del zigzag de la torcha, y pulsadores de inicio y apagado.

Figura 2. 35: Diseño del mando de control para la impresión 3D.
(Fuente: Propia)

A continuación, la figura 2.36 se muestra el proceso de impresión 3D y el mando de control terminado.

Figura 2. 36: Proceso de impresión 3D y mando de control terminado.
(Fuente: Propia)

2.6.5. Construcción de la base para montar las probetas

Se realiza la construcción de una base para sujetar y montar las probetas en la pared para realizar el proceso de soldadura en posición vertical. Se utilizará perfiles en L soldados y mediante pernos se sujetará las probetas. Debido a que la pared necesita protección se montará una placa de aluminio de 3mm. La base para montar las probetas se muestra en la figura 2.37.

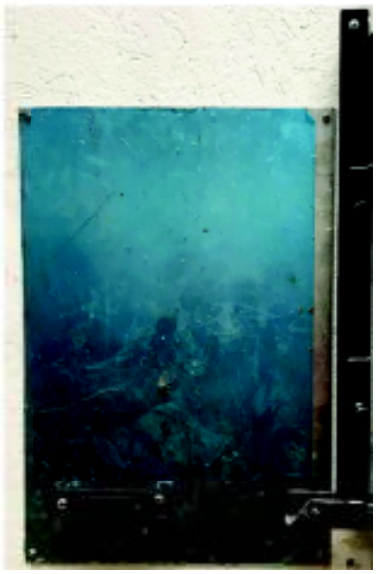


Figura 2. 37: Base para montar las probetas en posición vertical.
(Fuente: Propia)

2.6.6. Costos

En el subcapítulo anterior se realizó el dimensionamiento de los componentes del mecanismo. En el presente subcapítulo se presenta el costo detallado de todos los elementos normalizados y construidos utilizados para la construcción y montaje del mecanismo, teniendo en cuenta que los sistemas para el análisis de costos son seleccionados de la siguiente manera.

2.6.6.1. Costos de elementos normalizados

En la tabla 2.35 se detalla todos los elementos normalizados para la construcción del mecanismo.

Tabla 2. 35: Costo de elementos normalizados utilizados para construcción del mecanismo.

Elementos	Especificaciones	Cantidad	Costo unitario ($/U)	Total [USD]
Pernos	DIN 84-M3x12	15	$ 0,06	$ 0,90
Pernos	DIN 84-M5x20	3	$ 0,12	$ 0,36
Pernos	DIN 84-M5x12	12	$ 0,09	$ 1,08
Pernos	DIN 933-M5x6	12	$ 0,05	$ 0,60
Pernos	UNC 5/16x1 1/2	2	$ 0,15	$ 0,30
Pernos	DIN 931-M6x45	1	$ 0,20	$ 0,20
Pernos	DIN 963-M6x15	2	$ 0,18	$ 0,36
Pernos	DIN 933-M6x30	4	$ 0,13	$ 0,52
Arandelas	DIN 6798-M8	2	$ 0,05	$ 0,10
Tuercas	DIN 934-M6	4	$ 0,03	$ 0,12
Tuercas	UNC 5/16	1	$ 0,07	$ 0,07
Anillo de seguridad	DIN 471-17	4	$ 0,29	$ 1,16
Anillo de seguridad	DIN 472-41	4	$ 1,20	$ 4,80
Rodamientos SKF	6203	4	$ 5,80	$ 23,20
Tornillos	DIN 7996 6x35	5	$ 0,11	$ 0,55
Tornillos	DIN 7996 6x16	4	$ 0,08	$ 0,32
Tornillos	DIN 7996 6x50	5	$ 0,13	$ 0,65
Taco fischer	Sx8	14	$ 0,07	$ 0,98
			Total	**$ 36,27**

(Fuente: Propia)

En la tabla 2.36 se detalla los elementos electrónicos utilizados para el control del mecanismo

Tabla 2. 36: Costos de elementos electrónicos normalizados para el control del mecanismo.

Elemento	Descripción	Cantidad	Costo unitario ($/U)	Total [USD]
Arduino	Nano	1	$ 11,25	$ 11,25
LCD	2 x 16	1	$ 4,85	$ 4,85
Potenciómetro	100 kΩ	2	$ 0.68	$ 1,36
Potenciómetro de precisión	5 kΩ	1	$ 0,88	$ 0,88
Resistencia	330Ω	1	$ 0,12	$ 0,12
Pulsadores	2 pines	2	$ 0,85	$ 1,70
Capacitores cerámicos	0,2 µF	2	$ 0,15	$ 0,30
Servomotor	Capacidad 6,5 Kg	1	$ 7,28	$ 7,28
Batería lip	7,5 V	1	$ 20,00	$ 20,00
Borneras	Dos terminales	4	$ 0.89	$ 3,56
Borneras	Tres terminales	2	$ 0.89	$ 1,78
Espadines	hembra	3	$ 0,74	$ 2,22
Espadines	macho	1	$ 0,72	$ 0,72
Switch	2 pines	1	$ 0,40	$ 0,40
Percloruro férrico	-------	2	$ 2,16	$ 4,32
Baquelita	10x10cm	1	$ 2,88	$ 2,88
			Total	**$ 63,62**

(Fuente: Propia)

2.6.6.2. Costos de sistema de anclaje de guías del mecanismo

Conociendo los costos de elementos normalizados, en la tabla 2.37 se presenta el costo de materiales utilizados para la construcción de los elementos del sistema de anclaje de guías del mecanismo.

Tabla 2. 37: Costo de materiales utilizados para la construcción del sistema de anclaje de guías.

Pieza	Ángulo A36 de 28,58 mm ($/kg)		Plancha de acero A36 t=3,18 mm ($/kg)		Barra de duralon 20x25 mm ($/kg)		Barra cuadrada A36 20 mm ($/kg)		Total
Costo Unitario [$]	**1,6**		**1,45**		**21**		**9**		
Elemento	**Cant.**	**[USD]**	**Cant.**	**[USD]**	**Cant.**	**[USD]**	**Cant.**	**[USD]**	**[USD]**
Guías para sujeción	0	$ -	0	$ -	1,40	$ 29,40	0	$ -	$ 29,40
Cremalleras	0	$ -	0	$ -	0	$ -	3,00	$ 27,00	$ 27,00
Perfil en L para sostén de guías	2,00	$ 3,20	1,00	$ 1,45	0	$ -	0	$ -	$ 4,65
Placas para unión de ángulos	0	$ -	0,50	$ 0,73	0	$ -	0	$ -	$ 0,73
Placas para anclaje de ángulos	0	$ -	0,30	$ 0,44	0	$ -	0	$ -	$ 0,44
								Total	**$ 62,21**

(Fuente: Propia)

En la tabla 2.38 se presenta el costo de mano de obra para la construcción del sistema de anclaje de guías del mecanismo.

Tabla 2. 38: Costo de mano de obra para la construcción del sistema de anclaje de guías.

Máquina		Torno		Taladrado		Fresado		Soldadura		Operario General		Total
Costo HHM [$/h]		8		4		7		8,5		3,25		
Pieza	Cantidad	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	[USD]
Guías para sujeción	6	0	$ -	0,15	$ 0,60	3,50	$ 24,50	0	$ -	0,50	$ 4,25	$ 176,10
Cremallera	2	0	$ -	0	$ -	20,00	$ 140,00	0,25	$ 2,13	0,50	$ 4,25	$ 292,75
Perfil en L para soporte de guías	2	0	$ -	0,40	$1,60	0	$ -	0,30	$ 2,55	0,20	$ 1,70	$ 11,70
Placas para unión de ángulos	3	0	$ -	0,10	$ 0,40	0	$ -	0,25	$ 2,13	0,10	$ 0,85	$ 10,13
Placas para anclaje de ángulos	2	0	$ -	0,05	$ 0,20	0	$ -	0,10	$ 0,85	0,10	$ 0,85	$ 3,80
											Total	**$ 494,48**

(Fuente: Propia)

2.6.6.3. Costos del sistema de avance del mecanismo

Partiendo del costo del sistema para anclaje de guías y riel, en la tabla 2.39 se presenta el costo de materiales utilizados para la construcción de los elementos del sistema de avance del mecanismo.

Tabla 2. 39: Costo de materiales utilizados para la construcción del sistema de avance.

Pieza	Eje AISI 1045 Ø=100 mm ($/kg)		Eje AISI 1045 Ø=20 mm ($/Kg)		Total
Costo Unitario [$]	5,5		3		
Elemento	Cant.	[USD]	Cant.	[USD]	[USD]
Piñones	1,50	$ 8,25	0	$ -	$ 8,25
Bocines	0	$ -	0,20	$ 0,60	$ 0,60
				Total	**$ 8,85**

(Fuente: Propia)

En la tabla 2.40 se presenta el costo de mano de obra para la construcción de elementos para la transmisión de movimiento.

Tabla 2. 40: Costo de mano de obra para la construcción del sistema de avance.

Máquina		Torno		Taladrado		Fresado		Soldadura		Operario General		Total
Costo HHM [$/h]		8		4		7		8,5		3,25		
Pieza	Cantidad	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	[USD]
Piñones	2	0,50	$ 4,00	0	$ -	6,00	$ 42,00	0	$ -	1,00	$ 3,25	$ 98,50
Bocines	2	0,25	$ 2,00	0,15	$ 0,60	0	$ -	0	$ -	0,20	$ 0,65	$ 6,50
											Total	**$ 105,00**

(Fuente: Propia)

2.6.6.4. Costo de sistema de sujeción

Conociendo el costo sistema de avance, en la tabla 2.41 se presenta el costo de materiales utilizados para la construcción de los elementos del sistema de sujeción.

Tabla 2. 41: Costo de materiales utilizados para la construcción del sistema de sujeción.

Pieza	Eje AISI 1045 Ø=25,4 mm ($/kg)		Eje duralon, Ø=70 mm ($/kg)		Plancha Acero A36, t=3 mm ($/kg)		Total
Costo Unitario [$]	5,5		14		5		
Elemento	Cant.	[USD]	Cant.	[USD]	Cant.	[USD]	[USD]
Ejes	1,50	$ 8,25	0	$ -	0	$ -	$ 8,25
Ruedas	0	$ -	0,80	$ 11,20	0	$ -	$ 11,20
Placa soporte	0	$ -	0	$ -	0,70	$ 3,50	$ 3,50
						Total	$ 22,95

(Fuente: Propia)

En la tabla 2.42 se presenta el costo de mano de obra para la construcción de los elementos del sistema de sujeción.

Tabla 2. 42: Costo de mano de obra para la construcción del sistema de sujeción.

Máquina		Torno		Taladrado		Fresado		Soldadura		Operario General		Total
Costo HHM [$/h]		8		4		7		8,5		3,25		
Pieza	Cantidad	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	[USD]
Ejes	4	0,40	$ 3,20	0	$ -	0	$ -	0,20	$ 1,70	0,40	$ 1,30	$ 24,80
Ruedas	4	0,80	$ 6,40	0,10	$ 0,40	0	$ -	0	$ -	0,20	$ 0,65	$ 29,80
Placa soporte	1	0	$ -	0,40	$ 1,60	0	$ -	0	$ -	0,30	$ 0,98	$ 2,58
											Total	$ 57,18

(Fuente: Propia)

2.6.6.5. Costo del sistema de movimiento transversal de la torcha

Para complementar los costos de todos los sistemas que producen el movimiento del mecanismo, se detalla en la tabla 2.43 el costo de materiales utilizados para la construcción del sistema de movimiento transversal de la torcha.

Tabla 2. 43: Costo de materiales utilizados para la construcción del sistema de movimiento transversal de la torcha.

Pieza	Eje Aluminio Ø=20 mm ($/kg)		Plancha Aluminio, t=2 mm ($/kg)		Barra cuadrada A36 de 10 mm ($/kg)		Total
Costo Unitario	8		14		3		
Elemento	Cant.	[USD]	Cant.	[USD]	Cant.	[USD]	[USD]
Acople para servomotor	0,10	$ 0,80	0	$ -	0	$ -	$ 0,80
Base para servomotor	0,35	$ 2,80	0	$ -	0	$ -	$ 2,80
Abrazadera para servomotor	0	$ -	0,05	$ 0,70	0	$ -	$ 0,70
Apoyo para cremallera	0	$ -	0	$ -	0,05	$ 0,15	$ 0,15
						Total	$ 4,45

(Fuente: Propia)

En la tabla 2.44 se presenta el costo de mano de obra para la construcción de los elementos del sistema para el movimiento transversal de la torcha.

Tabla 2. 44: Costo de mano de obra para la construcción del sistema de movimiento trasversal de la torcha.

Máquina		Torno		Taladrado		Fresado		Soldadura		Operario General		Total
Costo HHM [$/h]		8		4		7		8,5		3,25		
Pieza	Cantidad	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	[USD]
Acople para servomotor	1	0,30	$ 2,40	0,10	$ 0,40	0	$ -	0,20	$ 1,70	0,40	$ 1,30	$ 5,80
Base para servomotor	1	0,15	$ 1,20	0,10	$ 0,40	0	$ -	0,40	$ 3,40	0,20	$ 0,65	$ 5,65
Abrazadera para servomotor	1	0	$ -	0,10	$ 0,40	0	$ -	0	$ -	0,30	$ 0,98	$ 1,38
Brazo para sujeción de la torcha	1	0,20	$ 1,60	0,15	$ 0,60	0	$ -	0,60	$ 5,10	0,40	$ 1,30	$ 8,60
Apoyo para cremallera	1	0,25	$ 2,00	0	$ -	0	$ -	0,35	$ 2,98	0,30	$ 0,98	$ 5,95
											Total	$ 27,38

(Fuente: Propia)

2.6.6.6. Costo de sistema de sujeción de probetas y control

Finalmente, en la tabla 2.45 se presenta el costo de materiales utilizados para la construcción de los elementos del sistema de sujeción de probetas.

Tabla 2. 45: Costo de materiales para la construcción del sistema de sujeción de probetas.

Pieza	Plancha Aluminio, t=2 mm ($/kg)		Tuberia de acero Ø=12 mm ($/Kg)		Ángulo A36 de 28,58 mm ($/kg)		Total
Costo Unitario	14		1		1,6		
Elemento	Cant.	[USD]	Cant.	[USD]	Cant.	USD	[USD]
Alzas para soporte	0	$ -	0,10	$ 0,10	0	$ -	$ 0,10
Protección para pared	0,25	$ 3,50	0	$ -	0	$ -	$ 3,50
Ángulos para soporte de placas	0	$ -	0	$ -	1	$ 1,60	$ 1,60
						Total	$ 5,20

(Fuente: Propia)

Además, en la tabla 2.46 se detalla el costo de mano de obra para la construcción del sistema de sujeción de probetas y la tabla 2.47 donde se detalla el costo de mano de obra para la construcción de elementos utilizados para el control del mecanismo.

Tabla 2. 46: Costo de mano de obra para construcción del sistema de sujeción.

Máquina		Torno		Taladrado		Fresado		Soldadura		Operario General		Total
Costo HHM [$/h]		8		4		7		8,5		3,25		
Pieza	Cantidad	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	[USD]
Alzas para soporte	4	0,05	$ 0,40	0	$ -	0	$ -	0	$ -	0,05	$ 0,16	$ 2,25
Protección para pared	1	0	$ -	0,10	$ 0,40	0	$ -	0	$ -	0,20	$ 0,65	$ 1,05
Ángulos para soporte de placas	1	0	$ -	0,30	$ 1,20	0	$ -	0,30	$ 2,55	0,40	$ 1,30	$ 5,05
											Total	$ 8,35

(Fuente: Propia)

Tabla 2. 47: Costo de mano de obra para la construcción del sistema de control.

Máquina		Impresora 3D		Técnico Electrónico		Total
Costo HHM [$/h]		5,5		4		
Pieza	Cantidad	Tiempo [h]	[USD]	Tiempo [h]	[USD]	[USD]
Carcasa de botonera	1	8,00	$ 44,00	0	$ -	$ 44,00
Placa de control	1	0	$ -	5,00	$ 20,00	$ 20,00
Placa para regulación de velocidad	1	0	$ -	12,00	$ 48,00	$ 48,00
					Total	$ 112,00

(Fuente: Propia)

Para resumir y obtener el costo total del mecanismo se detalla los costos de cada sistema en la tabla 2.48.

Tabla 2. 48: Resumen de costos totales por sistemas.

Sistema	Costo [$]
Elementos normalizados	$ 99,89
Sistema de anclaje de guías	$ 556,69
Sistema de avance del mecanismo	$ 113,85
Sistema de sujeción	$ 80,13
Sistema de movimiento transversal de la torcha	$ 31,83
Sistema de sujeción de probetas	$ 13,55
Sistema de control	$ 112,00
Total	**$ 1007,74**

(Fuente: Propia)

2.7. Pruebas

En el subcapítulo anterior se realizó la construcción del equipo y se detallaron costos de mano de obra y materiales utilizados, por lo que en el presente subcapítulo se procede a realizar el protocolo de pruebas que consiste en realizar la comparación de las especificaciones técnicas presentadas anteriormente con los resultados obtenidos del mecanismo en funcionamiento.

Las principales especificaciones técnicas del equipo son:

- Avance lineal automático 1 [m]
- Soldadura en posición vertical y plana
- Dimensiones del equipo (1x0.27x0.5) [m]
- Longitud del movimiento transversal de la torcha 0.15 [m]
- Mando de control de movimientos

Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de soldadura de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional. Aquí se procedió a montar el banco de pruebas para realizar soldadura en posición vertical, teniendo en cuenta que para la soldadura en posición plana tendría que desmostarse las rieles y posicionarse sobre la mesa de trabajo del laboratorio.

Para la realización de las pruebas se tiene la siguiente secuencia de encendido y pre-operación del equipo:

1. Realizar conexiones de alimentación del equipo y montar placas de pruebas.
2. Seleccionar la velocidad de avance lineal mediante la perilla del equipo.
3. Ajustar mediante el mando de control la velocidad de desplazamiento de la torcha y ancho de cordón.
4. Centrar la torcha mediante el mando de control.
5. Encendido de avance lineal.
6. Encendido de arco de soldadura y movimiento transversal de la torcha mediante el mando de control.
7. Realización del cordón de soldadura
8. Apagado del arco de soldadura, y movimiento transversal de la torcha.
9. Apagado del avance lineal.

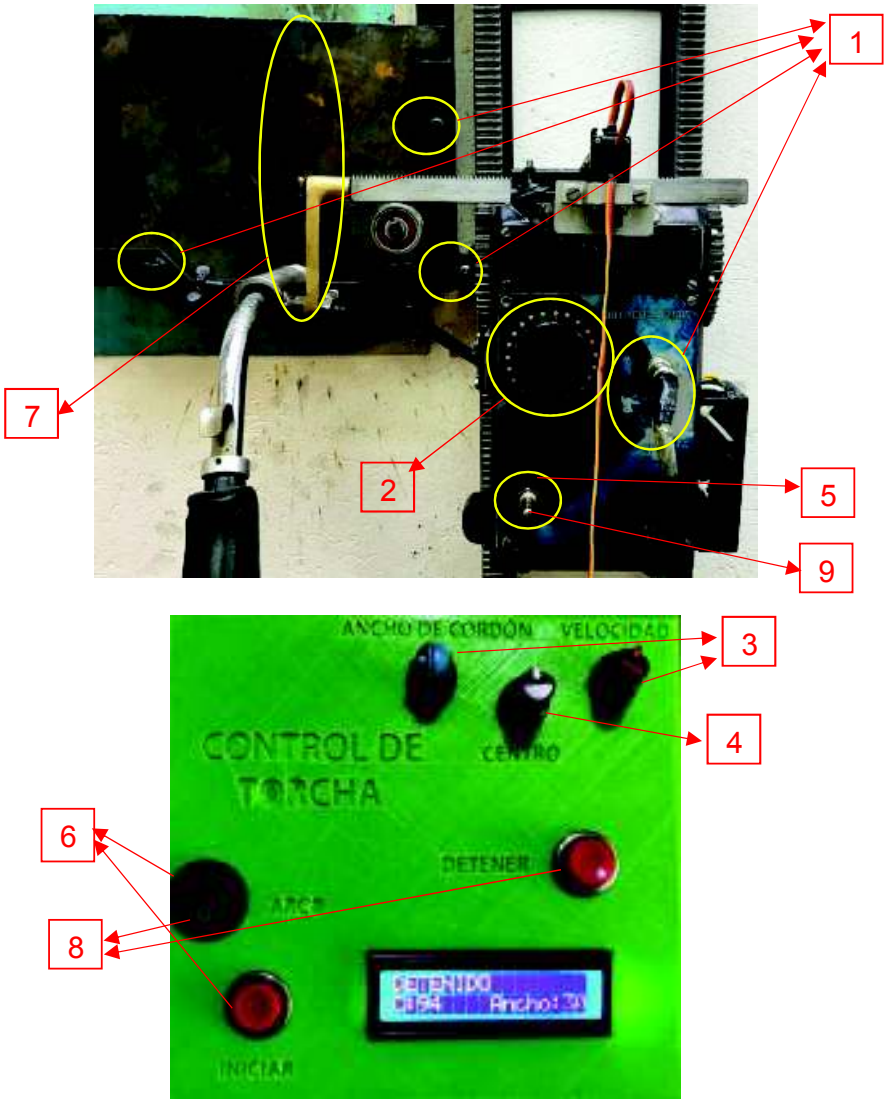


Figura 2. 38: Esquema explicativo para realización de pruebas.
Fuente: (Propia).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizadas las pruebas del mecanismo para automatizar el proceso GMAW se obtienen los siguientes resultados:

3.1. Dimensiones del equipo

Las dimensiones del equipo son las que se presentan en la figura 3.1, donde se puede observar el ancho, alto y el largo del mecanismo obtenido.

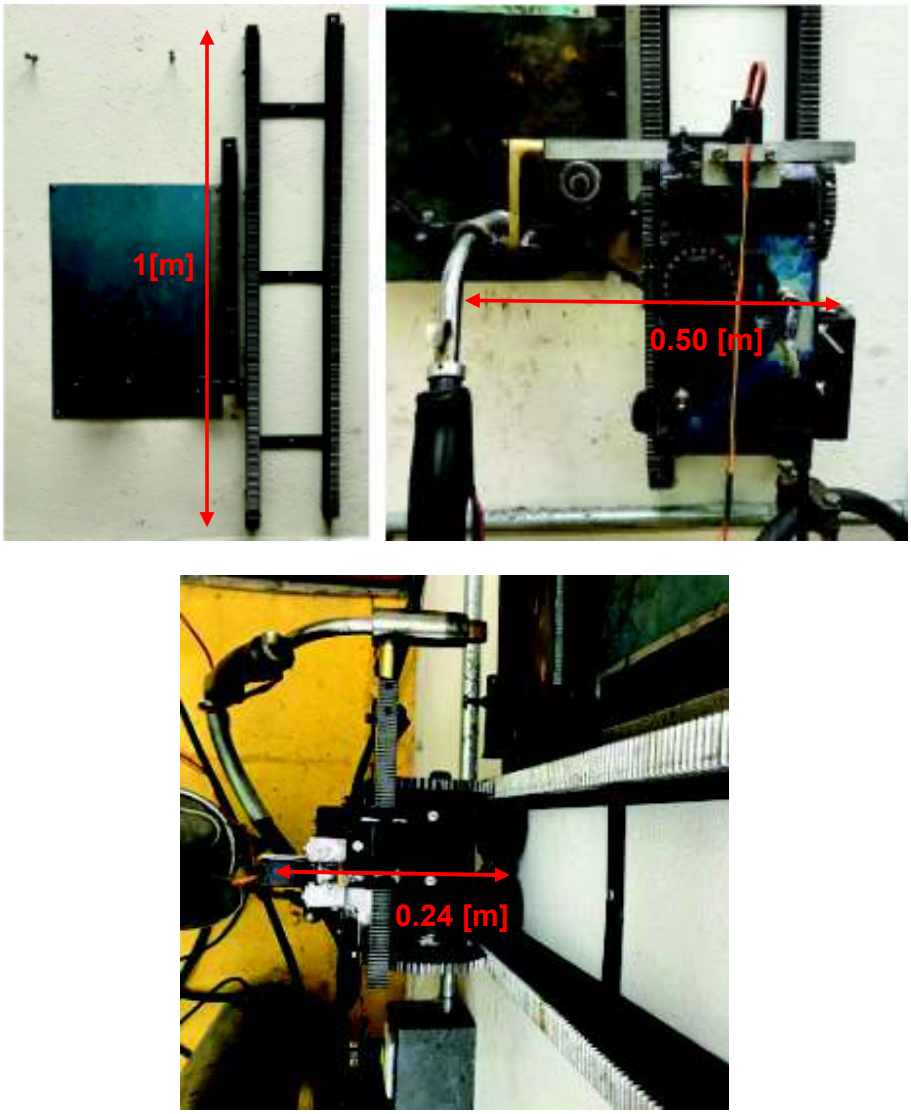


Figura 3. 1: Dimensiones finales del mecanismo.
(Fuente: Propia)

3.2. Placas para la calibración del equipo

Antes de realizar la soldadura de la placa final, se hicieron varios cordones en placas de prueba para la calibración de los parámetros de soldadura como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3. 1: Calibración y cambio de ancho de cordón de soldadura.

Calibración de velocidad de avance como velocidad de la torcha.	Cordón ancho 10 mm	Cordón ancho 15mm	Cordón ancho 5 mm

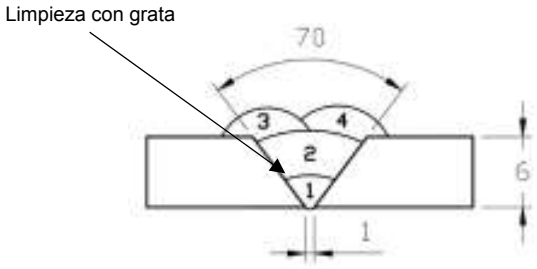
(Fuente: Propia)

En la tabla 3.1 se puede observar cómo variando parámetros del mecanismo, así como desplazamiento transversal de la torcha, velocidad de avance, y velocidad transversal de la torcha se puede obtener cordones de diferentes anchos. Además, se puede evidenciar el progreso para la calibración del mecanismo, ya que se logró en un inicio cordones no uniformes y conforme se lo calibraba se obtuvo cordones uniformes. Teniendo en cuenta que los cordones fueron realizados en placas de acero A 36 con diferentes amperajes.

3.3. Placas finales

Una vez calibrado el equipo y con las siguientes condiciones de junta mostradas en la tabla 3.2, se obtuvieron los siguientes cordones de soldadura presentados en la tabla 3.3, donde se comprueba la funcionalidad del mecanismo diseñado.

Tabla 3. 2: Descripción del material y junta para realizar la soldadura prueba.

Lugar: Laboratorio de soldadura de la Escuela Politécnica Nacional	Fecha: 15/02/2018	Hora: 16:00-17:00
Material: Placa de acero A36	Tipo de junta: A tope con bisel en V	Dimensiones: 200x150x6 [mm]
Parámetros: Amperaje: 18,3 [A] Velocidad de avance: 17cm/min Velocidad de oscilación: 120cm/min Velocidad de material de aporte: 254 cm/min	Detalle de la junta:  	
Posición: 3G	Material de aporte: Alambre de acero 1,2 mm	

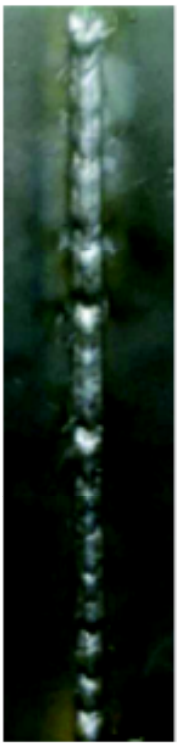
(Fuente: Propia)

Se realizó una probeta con bisel en V, sin talón para la soldadura a tope en posición 3G como se presenta en la descripción de la tabla 3.2.

Para la prueba de funcionalidad se realizó 4 pases:

- Primer pase o llamado de raíz fue un cordón de ancho 5 mm, posteriormente se limpió mediante grata.
- Segundo pase o de relleno con un ancho de 11 mm.
- Tercer y cuarto pase de relleno con un ancho de 15mm.

Tabla 3. 3: Pases realizados en una probeta junta a tope con bisel en V.

Pase de raíz	Limpieza Grata	Pase 2	Pase 3	Pase 4
				

(Fuente: Propia)

En la tabla 3.3 presenta los gráficos de pases realizados en la probeta detallada en la tabla 3.2.

En el pase de raíz puede observarse pequeñas discontinuidades superficiales esto se debe a que energéticamente el laboratorio no se encontraba en óptimas condiciones, por lo que el arco eléctrico no lograba estabilizarse, siendo esto independiente del diseño del mecanismo.

Al limpiar el pase raíz mediante grata podemos observar que no existen poros, por lo que se procede a realizar los posteriores pases de relleno, en el segundo pase se puede evidenciar que la energía de alimentación fue constante en toda la realización del cordón ya que presenta ancho constante y uniforme.

En los pases 3 y 4 se puede identificar nuevamente discontinuidades debido a la falta de energía de alimentación. Al ser constante la forma y ancho de cordón, podemos deducir que en el funcionamiento del mecanismo no existe ningún problema.

Figura 3. 2: Penetración del pase raíz.
(Fuente: Propia)

Finalmente, se verifica la penetración realizada por el pase de raíz indicada en la figura 3.2, donde podemos decir que existe una buena penetración ya que visualmente no se observan defectos.

3.4. Discusión de Costos

En este subcapítulo se procede a realizar una comparación de la inversión necesaria para la construcción del mecanismo implementado en el equipo que será rehabilitado, versus la inversión necesaria para la compra de equipos nuevos. Teniendo una inversión total del mecanismo construido de $1007,74, ver tabla 2.48.

En el mercado se encuentra una alternativa al mecanismo construido (opción 1), este equipo cuenta con similares características, pero no presenta movimiento transversal de la torcha; su costo es de $5308,72.

Alternativamente, el costo de otro equipo (opción 2) que presenta iguales características de funcionamiento al mecanismo construido es de $ 6496,16.

El ahorro que representa la construcción de este mecanismo para el laboratorio se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3. 4: Ahorro en la construcción del mecanismo en comparación a la opción uno y dos

Opción	Ahorro
1	$ 4372,98
2	$ 5488,42

(Fuente: Propia)

4. CONCLUSIONES

Al finalizar el proceso de diseño y construcción del mecanismo para automatizar el proceso GMAW se pueden deducir las siguientes conclusiones y recomendaciones.

4.1. Conclusiones

En el presente proyecto, se ha diseñado y construido un mecanismo que brinda la posibilidad de realizar un cordón de soldadura en posición 3G y 1G con un ancho de cordón variable desde 0.5 cm hasta 1.5 cm, velocidad de avance constante en un rango de 17-110 [cm/min], logrando así automatizar el proceso de soldadura GMAW del laboratorio de soldadura.

Mediante el uso del sistema piñón-cremallera se consiguió el avance lineal en posición 1G y 3G, de manera que no se tuvieron problemas como pérdidas de potencia por deslizamiento. Además, el diseño es seguro para el usuario.

Se cumplió satisfactoriamente con los requerimientos del usuario para la automatización del proceso GMAW del laboratorio de soldadura.

Se construyó un banco de pruebas que permite realizar un cordón de soldadura en placas de diferentes espesores.

Se obtuvieron cordones de soldadura uniformes y con buen acabado superficial, constatando que el funcionamiento del mecanismo es óptimo.

Se observaron discontinuidades en los cordones de soldadura debido a la mala alimentación energética que posee el laboratorio. Siendo esto independiente del mecanismo construido.

Se observó que, una vez calibrado el equipo, se puede reducir tiempo y material de aporte en la realización de cordones de soldadura.

Se constató que velocidad de avance lineal y la velocidad transversal de la torcha son parámetros de vital importancia para la realización de diferentes anchos de cordón de buena calidad.

Se determinó mediante la discusión de costos que la inversión en la construcción del mecanismo es mucho menor en comparación a la inversión de un equipo con similares características que puede ser adquirido en el mercado.

Se observó que al realizar el proceso GMAW en posición 3G, esta presenta mayor dificultad para realizar el cordón de soldadura que la posición 1G debido a que los parámetros de soldadura son críticos.

Se comprobó que al incrementar el amperaje o la velocidad de avance al momento de realizar la soldadura en la posición 3G aumenta la aparición de mordeduras, y esto puede ser minimizado con la variación de velocidad del movimiento transversal de la torcha.

4.2. Recomendaciones

Aplicar líquido anti-salpicaduras en las partes aledañas a la sujeción de la probeta a soldar, ya que las salpicaduras podrían ocasionar paros al momento de realizar el cordón o daños en los sistemas del mecanismo.

Lubricar la cremallera de la torcha semanalmente para evitar que el servomotor se sobrecargue y este pueda causar paro al momento de realizar el cordón.

Se recomienda realizar la alimentación del servomotor y del microcontrolador de manera individual, ya que si se tiene la misma alimentación el servomotor no trabajará con la alimentación requerida y podría averiarse.

Asegurarse que la fuente de alimentación del equipo GMAW sea óptima ya que si esta presenta picos y valles al momento de realizar la soldadura como fue el caso del laboratorio debido a la avería del transformador, no se logrará tener un cordón de calidad ya que presentara discontinuidades debido a que el arco eléctrico no se estabiliza.

Se recomienda verificar antes de comenzar el proceso de soldadura que la placa y biseles estén debidamente posicionados, ya que, si se encuentra irregularidades en la superficie a soldar, se podría ocasionar fallas en la soldadura, debido a que el cable de alimentación golpearía con la irregularidad.

Sujetar el cable de la torcha en la abrazadera del mecanismo para evitar que el peso de este desvíe a la cremallera de la torcha.

Referencias Bibliográficas

American Welding Society . (1996). *Manual de Soldadura.* Mexico, D.F.: Pearson.

American Welding Society. (2001). *Standard Welding Terms and Definitions.*

Aranda, D. (2014). *ELECTRÓNICA - Plataformas Arduino y Raspberry Pi.* Buenos Aires: USERS.

Araujo, G., & Calvachi, C. (Enero de 2012). Automatización de soldadora en linea recta de la metalmecácinca de San Bartolo. Quito, Ecuador.

Barret, S. (2012). *Arduino Microcontroller: Processing for Everyone!* Washintong D.C.: Morgan & Claypool.

Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.* México, D.F.: McGraw-Hill.

CATEDU. (25 de Octubre de 2016). *E-DUCATIVA*. Obtenido de http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1102/html/1_pincremallera.html

DEMERO. (2015). *DEMERO Automatic Systems*. Obtenido de https://www.demero.pl/pl/model/239/Przecyzyjna_przekladnia_planetarna_z_kolem_zebatym_ZTR-PHV

DirectIndustry. (2018). *Directindustry.es.* Obtenido de http://www.directindustry.es/prod/koike/product-19388-1458517.html

ECORSA. (2015). *Ecorsa*. Obtenido de http://www.ecorsaperu.com.pe/fajas-industriales-en-v/

ESAB Welding Handbook. (2008). *esab.com*. Obtenido de http://www.esabna.com/euweb/mig_handbook/592mig7_1.htm

Eyheralde, M. (2012). Inspección de Soldadura., (pág. 3). Montevideo.

Flores, J. (2015). *Sistemas de transmisión mecánica.* La Paz.

Fronius. (2018). Carriage FDV 15 MF. *Fronius Shifting the limits*.

Galagar. (2017). *Galagar.com*. Obtenido de https://www.galagar.com/htm/es/prods/781/soldadura-y-corte/automatismos/carro-de-soldadura-dragon.html

Gamba, S. (2016). *Soldadura automatizada: un gran paso para los fabricantes latinoamericanos.* International Metalmecanica. Obtenido de http://www.metalmecanica.com/temas/Soldadura-automatizada,-un-gran-paso-para-los-fabricantes-latinoamericanos+110570

Gonzalez, E., Vergara, V., Toledo, R. H., & Calderón, R. M. (2010). *Influencia de los parámetros operacionales del proceso de soldadura MIG/MAG con transferencia metálica por Corto-circuito.* Antofagasta, Chile.

Jeffus, L. (2009). *Soldadura Principio y aplicaciones.* Paraninfo S.A. .

Kurniawan, A. (2016). *Getting Started With STM32 Nucleo Development.* ST.

Lincoln Electric. (2014). *Gas Metal Arc Welding.* Cleveland.

Lincoln-KD. (2010). Soldadura semiautomática con gas de protección (MIG/MAG). *Lincoln Electric*, 24-27.

Metfusion. (2013). *Mefusion.com*. Obtenido de https://metfusion.wordpress.com/2013/08/10/posiciones-de-soldadura-smaw/comment-page-1/

Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas.* México: Pearson.

Nadzam, J. (2014). Gas Metal Arc Welding Guidelines. Lincoln Electric.

Odetto, A. (2014). *Cadena de Transmisión.* Rosario.

Pifactory. (2016). *Raspberry Pi Model A+ 512MB*. Obtenido de https://www.pifactory.co.za/product/raspberry-pi-model-a-512mb/

Rengifo, A. (2009). Efecto de las variables en el proceso de soldadura GMAW (MIG/MAG). 2-4.

Reyes, L. (Agosto de 2007). *E.I.S.S.M.* Obtenido de https://docplayer.es/45854448-Soldadura-gtaw-soldadura-g-t-a-w-propiedad-de-inadet-cenaltec-prohibida-la-reproduccion-parcial-o-total.html

Rowe, R., & Jeffus, L. (2008). *Manual de Soldadura GMAW.* Madrid: Paraninfo S.A.

Saunders, H. (1997). MIG/MAG Welding Guide For Gas Metal Arc Welding (GMAW). Lincoln Electric.

SKF. (2015). *Rodamientos.* Gotenburgo.

Soldexa. (2012). *Manual de soldadrua & Catálogo de productos.* Oerlikon.

Steelmax. (2018). *Steelmax.com*. Obtenido de https://www.steelmax.com/product/rail-runner-ii-modular-weldingcutting-carriage-integrated-seam-tracking/

TIDISAC. (2018). *TIDISAC*. Obtenido de http://www.tidisac.com/Cadenas-De-Rodillos.html

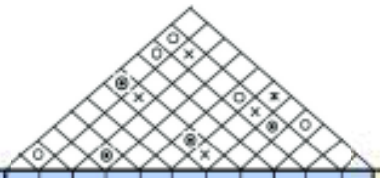
Anexos

Anexo 1

Casa de la calidad.

B = básico
O = unidimensional
E = estimulante

muy positiva ◉
positiva ○
negativa ×
muy negativa ✖



Voz del usuario Necesidades y deseos del usuario	Voz del ingeniero Características Técnicas	Vida útil	Peso	Periodo de mantenimiento	Tiempo de montaje	Bajo costo	Volúmen	Estabilidad	Tiempo de preoperación	Ciclo de operación	Ergonimia y seguridad	Adaptabilidad	A Evaluación usuario Propia empresa	B Competencia 1	C Competencia 2	D Objetivos	E Índice de mejora	F factor de venta	G Importancia	H ponderación	I Ponderación en %
Larga vida util	B	◉			○					▽			3	5	4	4	1,3		4	5,33	7,22
Liviano	O	○	◉		▽		○	▽	▽		▽		2	3	3	3	1,5	•	4	7,2	9,74
Fácil mantenimiento	O			◉	○					▽			2	3	3	4	2		3	6	8,12
Desarmable	E	○		○	◉			○	○		○	○	3	3	2	4	1,3		5	6,67	9,02
Bajo costo	O	○				◉	○		○		○		2	4	3	4	2		4	8	10,8
Compacto	E		▽				◉		▽				3	4	4	4	1,3		4	5,33	7,22
Estable	B		○		○	▽	▽	◉			○	○	4	4	4	5	1,3	●	5	9,38	12,7
Fácil manejo	O								◉	▽	▽	○	4	4	4	4	1	●	5	7,5	10,1
Longuitud de soldadura	B									◉			3	5	5	5	1,7		3	5	6,77
Confiable	B								▽		○		5	5	4	5	1	•	5	6	8,12
Diferente posicionamiento	E	○		▽	○		○	▽	▽			◉	4	3	3	5	1,3	●	4	7,5	10,1
																				73,9	100

Propia empresa	4	3	3	5	3	3	5	5	3	4	5
Competencia 1	4	2	3	4	4	3	5	4	4	4	5
Competencia 2	4	3	3	3	3	3	5	3	3	4	4
Incidencia	136	98	81	152	81	125	119	137	64	105	138	1236
Incidencia en %	11	8	7	12	7	10	10	11	5	8	11	100

Valores de referencia	10 años	9 Kg	mantenimiento/mes	5 min	$400	1 (m)^3	Equilibrio de fuerzas.	3 min	1 metro de soldadura	Bajo riesgo	Posición vertical y horizontal.

Factor de incidencia

Fuerte 9 ◉
Medio 3 ○
Bajo 1 ▽

E=D/A
H=E*F*G

Factor de venta

Fuerte ●
Posible •
Ningún

Anexo 2

Código de programación para el control del movimiento de la torcha.

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Servo.h>
LiquidCrystal lcd(4, 5, 6, 7, 8, 10, 11);
const int start = 2;
const int detener = 3;
int pos = 0;
int retardo;
Servo servo1;
int pinServo = 9;
  int pulsoMin = 650;
  int pulsoMax = 2350;
  int pot1=0;
  int pot2=0;
  int pot3=0;
  int angulo;
  int total;
  int modo=0;
  int posicion;
  int delta;
void setup()
{
  servo1.attach(pinServo, pulsoMin, pulsoMax);
  pinMode(start, INPUT_PULLUP);
  pinMode(detener, INPUT_PULLUP);
 attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(start), iniciado, FALLING);
 attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(detener), detenido, FALLING);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("DETENIDO");
   posicion=0;
    angulo=posicion;
     servo1.write(angulo);
}
void loop()
{
  if (modo==0)
  {
    lcd.clear();
     lcd.setCursor(0,0);
     lcd.print("DETENIDO");
  pot3 = analogRead(A2);
   posicion = map(pot3, 0, 1024, 45, 135);
     angulo=posicion;
```

```
    servo1.write(angulo);
 pot1 = analogRead(A0);
  retardo = map(pot1, 0, 1024, 4, 30);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("C:");
    lcd.print(posicion);
 pot2 = analogRead(A1);
  delta = map(pot2, 0, 1024, 0, 90);
    lcd.setCursor(8,1);
    lcd.print("Ancho:");
    lcd.print(delta);
 }
 if (modo==1)
 {
   lcd.clear();
     lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print("INICIADO");
 pot1 = analogRead(A0);
retardo = map(pot1, 0, 1024, 4, 30);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("C:");
    lcd.print(posicion);
 pot2 = analogRead(A1);
  delta = map(pot2, 0, 1024, 0, 90);
    lcd.setCursor(8,1);
    lcd.print("Ancho:");
    lcd.print(delta);
  pot3 = analogRead(A2);
  posicion = map(pot3, 0, 1024, 45, 135);
   for(angulo=0;angulo<=delta;angulo++)
   {
     delay(retardo);
     total=posicion+angulo;
     servo1.write(total);
   }
   posicion=total;
   for(angulo=0;angulo<=2*delta;angulo++)
   {
     delay(retardo);
     total=posicion-angulo;
     servo1.write(total);
   }
   posicion=total;
    for(angulo=0;angulo<=delta;angulo++)
   {
     delay(retardo);
```

```
      total=posicion+angulo;
      servo1.write(total);
    }
  }
}
void iniciado()
{
  delay(10);
    modo=1;
}
void detenido()
{
  delay(10);
  modo=0;
}
```

Anexo 3

Planos de taller y plano conjunto del mecanismo.