

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA
AUTOMÁTICO PARA SOLDADURA ORBITAL PARA
TUBERÍAS DE 32" a 14"**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OBTENCIÓN
DEL GRADO DE BACHILLER EN CIENCIAS CON
MENCIÓN EN INGENIERÍA MECATRÓNICA**

AUTOR

César Steven Díaz Choque

ASESOR

Ing. Michel Sigüenza Astoquillca

Lima, setiembre, 2020

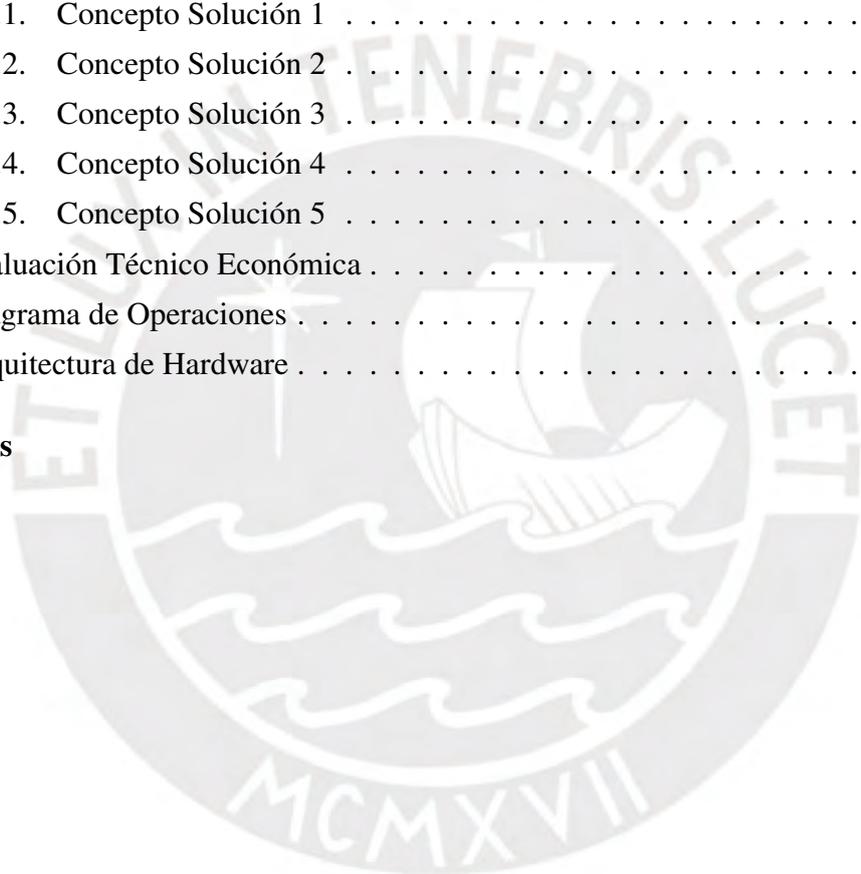
Resumen

En el Perú existe un escaso número de soldadores calificados; por ello, el país cuenta con mucha demanda de soldadores para los diferentes proyectos que se están realizando como la extensión de los gaseoductos sur peruano, entre otros, pero no se da abasto de soldadores. Esta situación conlleva, por parte de las concesionarias, a recurrir a mano de obra extranjera aumentando los precios de la mano de obra. Los objetivos del presente trabajo de investigación son el diseño conceptual de un sistema automatizado de soldadura orbital para tuberías de. Esto consiste en la pre-selección del diseño mecánico, la pre-selección del diseño electrónico y del sistema de control. Se utilizará la metodología VDI 2221 donde se desarrolla el planteamiento del problema, se desarrollan las propuestas de solución y se selecciona la solución optima. En el presente trabajo se realizó un extensivo estado del arte, el cual sirvió como base para la selección de los diferentes componentes mecánicos que contienen el sistema mecatrónico. Se obtuvieron cinco conceptos de soluciones y se seleccionó el optimo por medio de un análisis técnico vs económico. Del presente trabajo de investigación se concluye que es posible el diseño de un sistema orbital que cumpla con los requerimientos de la norma API 1104. Además, se concluye que para mejorar el sistema automatizado de soldadura orbital es necesario diseñar un sistema de seguimiento de soldadura o incluir alguno ya existente en el mercado.

Índice general

| | |
|---|------------|
| Resumen | I |
| Índice general | II |
| Índice de figuras | IV |
| Índice de cuadros | VII |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Alcance del trabajo de investigación | 4 |
| 1.2. Objetivos de la tesis | 4 |
| 1.2.1. Objetivo general | 4 |
| 1.2.2. Objetivos específicos | 4 |
| 1.3. Metodología a implementar | 5 |
| II. ESTADO DEL ARTE | 6 |
| 2.1. Marco Histórico | 6 |
| 2.2. Marco Teórico | 34 |
| 2.3. Lista de exigencias | 54 |
| III. Diseño Conceptual | 57 |
| 3.1. Caja Negra (Black Box) | 57 |
| 3.2. Determinación de a secuencia de operaciones | 58 |
| 3.2.1. Dominio Mecánico | 58 |
| 3.2.2. Dominio Electrónico | 58 |
| 3.2.3. Dominio de Control | 59 |
| 3.2.4. Dominio de Procesamiento de Señales e Imágenes | 60 |
| 3.2.5. Explicación de los dominios | 60 |

| | |
|--|-----------|
| 3.3. Estructura de Funciones | 61 |
| 3.4. Matriz Morfológica | 63 |
| 3.4.1. Dominio Mecánico | 64 |
| 3.4.2. Dominio Electrónico | 66 |
| 3.4.3. Dominio Eléctrico | 67 |
| 3.5. Concepto Solución Eléctrico | 68 |
| 3.6. Concepto Solución Electrónico | 69 |
| 3.6.1. Concepto Solución 1 | 69 |
| 3.6.2. Concepto Solución 2 | 69 |
| 3.7. Concepto Solución Mecánico | 70 |
| 3.7.1. Concepto Solución 1 | 70 |
| 3.7.2. Concepto Solución 2 | 72 |
| 3.7.3. Concepto Solución 3 | 75 |
| 3.7.4. Concepto Solución 4 | 78 |
| 3.7.5. Concepto Solución 5 | 82 |
| 3.8. Evaluación Técnico Económica | 86 |
| 3.9. Diagrama de Operaciones | 88 |
| 3.10. Arquitectura de Hardware | 89 |
| Conclusiones | 91 |
| Referencias | 93 |



Índice de figuras

| | |
|---|----|
| 2.1. Soldadura de arco con atmósfera de gas inerte (TIG) | 9 |
| 2.2. Soldadura por arco eléctrico con alambre sólido y gas (MIG) | 10 |
| 2.3. Maquinas CNC cartesianas para soldadura | 10 |
| 2.4. Robot KUKA con antorcha soldadora | 11 |
| 2.5. Vehículo Orbital para Soldadura de Tubería | 12 |
| 2.6. Perspectiva del sistema soldador orbital abierto y montado sobre la estructura | 13 |
| 2.7. Perspectiva del sistema soldador orbital cerrado | 14 |
| 2.8. Patente Rodillos laterales1 | 15 |
| 2.9. Patente Rodillos laterales2 | 16 |
| 2.10. Unidad Soldadora con control sobre la junta de soldadura | 17 |
| 2.11. Sistema de medición topológico | 19 |
| 2.12. Soldadura Automatizada Móvil y Sistema de Control de Calidad | 21 |
| 2.13. Lincoln Global Sistema automatizado orbital de soldadura | 22 |
| 2.14. Sistema de sujeción de antorcha | 23 |
| 2.15. Sistema de riel anillo de Bugo System | 23 |
| 2.16. Lincoln Flexpendant | 25 |
| 2.17. Comunicación LINCOLN Flexpendant y Sistema de Soldadura | 26 |
| 2.18. Delta 800 RITMO | 27 |
| 2.19. Lincoln Electric APEX™2100 | 28 |
| 2.20. Lincoln Electric Helix Track | 30 |
| 2.21. Lincoln Electric Helix Head | 31 |
| 2.22. Fronius Flextrack 45 Pro | 31 |
| 2.23. Adaptación del algoritmo de control | 35 |
| 2.24. Algoritmo de control | 37 |
| 2.25. Driver para motor puente H giro Horario. Adaptación propia | 38 |
| 2.26. Driver para motor puente H giro Anti-Horario. Adaptación propia | 38 |

| | |
|---|----|
| 2.27. Disposición electrónica de los drivers y motores | 39 |
| 2.28. Sistema de adquisición de datos. Diseño propio | 40 |
| 2.29. Interfaz Gráfica | 41 |
| 2.30. Servo-Robot i-cube 100L | 43 |
| 2.31. Antorchas iBot y eBOT | 45 |
| 2.32. Antorcha BOT-T5W | 45 |
| 2.33. Cable de energía | 46 |
| 2.34. Sensor de boquilla | 46 |
| 2.35. Sistema Anticolisión eBOT | 47 |
| 2.36. Antorcha ABITIG MT 500W | 48 |
| 2.37. ORBITATUM Soldadura Orbital Cerrada | 49 |
| 2.38. Disposición de engranajes | 50 |
| 2.39. Adaptación Detección de vehículo basado en visión por computadora | 51 |
| 2.40. Región de Interés | 51 |
| 2.41. Transmisión y Recepción de rayo láser | 52 |
| 2.42. Diagrama esquemático | 53 |
| | |
| 3.1. Black Box | 57 |
| 3.2. Estructura de Funciones | 62 |
| 3.3. Concepto Solución 1 Dominio Eléctrico | 68 |
| 3.4. Concepto Solución 1 Dominio Electrónico | 69 |
| 3.5. Concepto Solución 2 Dominio Electrónico | 70 |
| 3.6. Concepto Solución 1 tractor Soldador | 71 |
| 3.7. Concepto Concepto Solución 1 Sistema de Sujeción | 72 |
| 3.8. Concepto Solución 2 tractor Soldador | 73 |
| 3.9. Concepto Solución 2 Sistema de Sujeción | 74 |
| 3.10. Concepto Solución 3 Tractor Soldador | 75 |
| 3.11. Concepto Solución 3 Sistema de Sujeción | 77 |
| 3.12. Concepto Solución 4 tractor Soldador Vista Isométrica | 79 |
| 3.13. Concepto Solución 4 tractor Soldador Vista de Perfil | 80 |
| 3.14. Concepto Solución 4 Sistema de Sujeción | 81 |
| 3.15. Concepto Solución 5 Tractor Soldador | 83 |
| 3.16. Concepto Solución 5 Sistema de Sujeción | 85 |
| 3.17. Diagrama de dispersión Técnico vs Económico | 87 |

| | |
|---|----|
| 3.18. Diagrama de operaciones | 88 |
| 3.19. Arquitectura Hardware | 90 |



Índice de cuadros

| | |
|---|----|
| 2.1. Características Técnicas Delta 800 RITMO | 27 |
| 2.2. Comparación máquinas comerciales | 32 |
| 2.3. Adaptación FANUC Sistema de seguimiento respecto a los procesos de soldadura | 44 |
| 2.4. Características del Sistema Anticolisión eBOT | 47 |
| 2.5. Características del Sistema ABITIG MT 300-500W | 48 |
| 2.6. Lista de exigencias | 54 |
| 2.7. Lista de exigencias | 55 |
| 2.8. Lista de exigencias | 56 |
| 3.1. Matriz Morfológica Mecánica | 64 |
| 3.2. Matriz Morfológica Electrónico | 66 |
| 3.3. Matriz Morfológica Electrico | 67 |
| 3.4. Evaluación Técnico Económica | 86 |
| 3.5. Leyenda | 86 |

I INTRODUCCIÓN

El gas natural es uno de los recursos con mayores demandas a nivel doméstico, así como industrial debido a sus costos bajos y sus grandes reservas P. Morales (2018). En los últimos años en el Perú, se han encontrado yacimientos de gas natural en la zona selvática y serranía del Perú; es por ello, que se ha ido masificando su extracción y transporte de este recurso a las diferentes regiones del país, en especial a la capital América Economía (2016). Además, otro hidrocarburo que se puede encontrar en abundancia en territorio peruano es el petróleo crudo, en especial, en la región selva. En esta zona al año se extraen barriles de petróleo en promedio de 24.8 millones; del país, esto representa el 70% de petróleo crudo, mientras que en la costa se puede llegar a extraer aproximadamente 6.8 millones de barriles al año MINAGRI (2015).

El transporte del gas natural se da por medio de gasoductos; estos gasoductos presentan una variación de diámetros comienza desde las 254mm en las ciudades, mientras que en zonas no pobladas puede llegar alcanzar hasta 820mm Osinerg (2003); Osinergmin (2013). Por otro lado, las dimensiones que pueden presentar dichos gaseoductos pueden ser exorbitantes como es el caso del megagaseoducto Siberia Power con 3 000 kilómetros que conecta Rusia y China BBC News Mundo (2019). Uno de los métodos utilizados para unir dichos gaseoductos es por medio de soldadura y bridas de sujeción. Debido a la larga distancia que recorren los gaseoductos para distribuir el gas a las diferentes ciudades para la realización de diferentes proyectos se necesitan un alto número de soldadores calificados para ensamblar los gaseoductos, además de máquinas soldadoras orbitales automatizadas para optimizar el trabajo y el tiempo invertido TeleSUR (2017). En el Perú, por ejemplo, el gaseoducto de Camisea del TGP

cuenta con una envergadura de aproximadamente 730 kilómetros desde Camisea hasta Lurín Osinerg (2003). Este gaseoducto llegó a requerir alrededor de 130 000 mil soldaduras dando un indicio de la cantidad de soldadores calificados necesarios Gestión (2016). Mientras que para la realización del Gaseoducto del Sur peruano cuya envergadura es de 1 000 kilómetros se requirieron alrededor de 2 000 técnicos de soldadura orbital según indicó el Director del instituto SENATI RPP (2014).

Por otro lado, los oleoductos también pueden llegar a alcanzar longitudes exorbitantes como es el caso de uno de los oleoductos más grande del mundo, Druzhba en Rusia, con una longitud de 4000 kilómetros de tuberías y una capacidad para transportar 1.2 millones de barriles diarios hacía países centro europeos. El descubrimiento de grandes reservas de petróleo crudo en el Nor-Este de la selva peruana conllevó a la necesidad de construir un oleoducto para su transporte. En la actualidad el principal medio de transporte de barriles de crudo se da por medio del oleoducto Norperuano. Este oleoducto tiene una longitud de 854 kilómetros recorriendo la Selva, Sierra y Costa del Perú MINEM (2001). Estos oleoductos cuentan con diferentes tramos: Tramo I, Ramas Norte y Tramo 2. Además, estos tramos cuentan con diferentes diámetros siendo estos de 609.6 mm, 406.4 mm y 914.4 mm respectivamente. El método utilizado para unir dichos oleoductos es por medio de soldadura. Al igual que los gaseoductos, dada la extensa longitud de los oleoductos se puede estimar la gran cantidad de soldadores que se requirió.

Sin embargo, estas cifras no incluyen a los soldadores calificados necesarios para los proyectos futuros como la Línea 2 del Metro, el aeropuerto de Chinchero y la línea de Transmisión eléctrica Iquitos-Moyobamba RPP (2014). Por otro lado, existe un déficit de soldadores calificados en el Perú; la cifra asciende de 3 500 soldadores calificados al año Gestión (2017). Empresas nacionales e institutos como SENATI han inaugurado centros de especialización para disminuir el déficit; sin embargo, hasta la actualidad no ha sido suficiente SENATI (2017).

Por lo tanto, esto conllevó a contratar soldadores nacionales y extranjeros con pensiones

elevadas de 15 000 soles mensuales para proyectos como el gas de Camisea Diario el Comercio (2015). Teniendo en cuenta el número de soldadores calificados necesarios para el proyecto del Gaseoducto del Sur peruano y el Oleoducto de Norperuano se puede estimar la inversión que se requiere para soldar los ductos.

Las tecnologías actuales en el extranjero respecto a la automatización de soldadura orbital para tuberías tienen muchas ventajas respecto a los métodos convencionales. Estos sistemas automáticos pueden realizar soldaduras más limpias, de mejor calidad con repetitividad y pueden eliminar el error del operario en soldadura TIG y MIG gracias a sus algoritmos de control implementados KEHUI (2019). Además, gracias a la naturaleza colaborativa misma de los sistemas automatizados elimina la necesidad de contratar muchos soldadores para la elaboración de proyectos ya que un solo soldador calificado puede supervisar los diferentes módulos de soldadura al mismo tiempo Crowe (2019). Por otro lado, las máquinas automatizadas de soldadura pueden reducir los costos de operación, mantenimiento y personal, además de una reducción en el desgaste de las herramientas y piezas con daños. También, el uso de máquinas automatizadas de soldadura permite generar ahorros en compras de máquinas gracias a la flexibilidad que poseen de adaptarse a los diferentes procesos de soldadura BFMéxico (2019).

Estos avances tecnológicos se han utilizado en múltiples proyectos de gran envergadura, como es el caso del gaseoducto Ruso que conecta con China TeleSUR (2017). Aquí una las máquinas utilizadas para soldar las tuberías es la soldadura orbital automática; estas permitieron soldar los 3 000 kilómetros de longitud de tuberías de diámetros de hasta 1 400 mm El Periódico (2019). Sin embargo, la inversión necesaria para comprar un solo sistema automatizado de soldadura orbital asciende aproximadamente a 70 000 dólares Lincoln Electric (2020b).

Por lo tanto, lo que se propone a continuación es el diseño económico de una máquina soldadora orbital automática para tuberías de acero de 360 *mm* hasta 920 *mm*. Esto permitirá reducir la alta demanda de soldadores calificados para la extensión de tuberías de gasoductos

y oleoductos a lo largo de las regiones del país; además, se reducirán los costos de mano de obra y los tiempos empleados en la realización del cordón de soldadura en las tuberías.

1.1 Alcance del trabajo de investigación

El presente trabajo de investigación tiene como alcance el diseño conceptual de una máquina automática de soldadura orbital para tuberías de 360 mm a 920 mm.

La máquina recibe los siguientes parámetros de entrada por parte del soldador calificado: voltaje, intensidad de corriente, avance de electrodo y caudal del gas protector; además, el diseño permitirá al soldador incluir o no la varilla del material de aporte. Como resultado debemos tener un cordón de soldadura limpio y debe cumplir con las normas internacionales.

Dicho objetivo se pretende alcanzar por medio de la integración de diferentes dominios: electrónico, mecánico y de control. La máquina debe posicionarse sobre la junta y debe realizar la soldadura adecuada de manera autónoma. El usuario solo interactúa con la máquina estableciendo los parámetros de soldadura y montando la máquina sobre la tubería.

1.2 Objetivos de la tesis

1.2.1 Objetivo general

El objetivo general del presente documento es el diseño conceptual de una máquina automática de soldadura orbital para tuberías de diámetros desde 360 *mm* hasta 920 *mm*.

1.2.2 Objetivos específicos

- Preseleccionar el sistema de soldadura orbital tal que garantice la realización del cordón de soldadura limpio y acorde a las norma establecidas por el Instituto Americano del Petróleo (API) en su estándar API 1104.

-
- Establecer el diseño conceptual del sistema mecánico que permita acoplar un sistema orbital de soldadura para tuberías de diámetros entre 360mm hasta 920mm.
 - Establecer el diseño conceptual del sistema eléctrico y electrónico que permita energizar y controlar el movimiento de los diferentes mecanismos empleados en el diseño mecánico; y, así mismo, controlar la trayectoria de la antorcha de soldadura sobre las tuberías.
 - Establecer el diseño conceptual del sistema de control y visión para garantizar un sistema autónomo y posicionar la antorcha de soldadura sobre la junta de soldadura.

1.3 Metodología a implementar

En el presente trabajo de investigación se implementará la metodología VDI 2221; esta metodología brinda un enfoque organizado del diseño de sistemas y productos técnicos. Las fases implementadas por dicha metodología son las siguientes: Ideación, Desarrollo Conceptual y Básico, Desarrollo avanzado y Lanzamiento. Primera fase, se detallará el estudio realizado al Estado del arte, en el cual indicaremos las características de las tuberías, referencias comerciales, patentes de los diferentes dominios y las herramientas para la integración de los dominios. También, se elaborará la lista de exigencias del sistema. Segunda fase, en el Diseño Conceptual se diseñarán las funciones parciales del sistema, las estructuras de funciones de los diferentes dominios, la matriz morfológica, los diferentes conceptos de solución y conceptos solución óptimo de cada dominio y, por último, los conceptos óptimos integrados.

II ESTADO DEL ARTE

2.1 Marco Histórico

Hoy en día, se ha masificado la extracción de hidrocarburos en el Perú; uno de estos es el gas natural, el cual es transportado por medio de tuberías Esan (2019). Estos gaseoductos superan los 8,900 kilómetros de extensión como es el caso del Gaseoducto Druzhba hacia el este de Europa; mientras que en el Perú las extensiones de los gaseoductos superan los 800 kilómetros. Dichos gaseoductos deben ser diseñados e instalados bajo normas nacionales e internacionales; por otro lado, para ensamblar dichos gaseoductos uno de los procesos utilizados es la soldadura por arco eléctrico.

Los materiales empleados para las instalaciones comerciales de tuberías de gas natural están acorde a las normas como API 5L y las Normas Técnicas Peruanas (NPT 111.011 2014). Algunos de los materiales empleados para la fabricación de dichos ductos de hidrocarburos como los gaseoductos son acero al carbono de grado A25 hasta X80. Los espesores de las tuberías pueden variar dependiendo del diámetro exterior de la tubería y la presión interna requerida en la tubería; a modo de ejemplo, para tuberías de 14'' (360 mm) hasta 32'' (812 mm) los espesores varían desde 0.2'' (0,5 mm) hasta 1.250'' (31,75 mm). Uno de los métodos empleados para unir dichas tuberías es por medio de soldadura orbital manual y automatizada.

Previo al proceso de soldadura en producción, es necesario y obligatorio definir un procedimiento de soldadura detallado, el cual garantice realizar cordones de soldadura sanas con excelentes propiedades mecánicas API 1104 (1999). Información específica es requerida al

momento de realizar los cordones de soldadura son los siguientes:

- El tipo de proceso el cual puede ser manual, semiautomático y automático.
- El material de tuberías y accesorios según API 5L
- El rango de diámetros y espesores de pared en el cual se realizará el procedimiento;
- El diseño de la junta en el cual se indiquen los ángulos de bisel, la abertura de raíz y el tamaño del talón.
- Se requiere especificar si se utilizará material de aporte y qué tipo de material según la norma AWS A5.
- Además, se requiere especificar el rango de voltaje y amperaje para cada electrodo, así como la polaridad.
- El tipo de llama a utilizar, las cuales pueden ser neutra carburante u oxidante, y el tamaño del rip de la antorcha según la norma API 1104.
- Es necesario definir si la tubería estará fija o será girada; la dirección de soldadura puede ser ascendente o descendente.
- También, es necesario establecer el tiempo máximo entre la culminación del cordón de raíz y el inicio del segundo cordón, además el tiempo máximo entre el segundo cordón y el resto de cordones a realizar
- Además, es necesario indicar el tipo de dispositivo de alineación el cual puede ser interno o externo.
- La selección de este dispositivo indica el mínimo porcentaje de cordón de raíz necesario antes de desmontar dicho dispositivo.

-
- Por último, el rango de velocidad de avance, gas de protección a utilizar, así como su caudal, y el pre y pos calentamiento son especificaciones necesarias que se requieren conocer antes de comenzar con el proceso de soldadura.

A lo largo de la historia el proceso de soldadura se ha ido masificando y ramificando como, por ejemplo, procesos SMAW (Soldadura de Arco Eléctrico Manual), SAW (Soldadura por Arco Sumergido), GTAW (Soldadura de Arco Eléctrico con Gas Tungsteno), GMAW (Soldadura por Arco Protegido con Gas Protector), FCAW (Soldadura por Arco con Núcleo de Flujo) o alguna combinación de estos procesos por medio de técnica manual, semiautomática, automática o alguna combinación de estas tres técnicas. Estos procesos son los que sugiere el estándar API 1104. Los procesos primordiales para el desarrollo de esta investigación es el proceso de soldadura automática TIG y MIG.

De la bibliografía rescatada podemos apreciar múltiples patentes en las cuales se automatiza el sistema de alimentación de alambre del electrodo Venegas (2015) hasta el desarrollo de máquinas comerciales en la actualidad que se encargan del desarrollo de todo el cordón de soldadura, en donde el operario solo es el encargado de supervisar y establecer los parámetros para la realización del cordón. Estos sistemas automatizados presentan múltiples ventajas, con respecto a los procesos manuales y semiautomáticos; alguna de las ventajas son las siguientes: mejor calidad en el cordón de soldadura con menor sobremonta y porosidad, aumento en la producción y disminución de mermas; por lo tanto, se reducen los costos de producción. Gamba (2016).

El proceso de soldadura de arco con atmósfera protectora de gas inerte (TIG) se desarrolla desde 1948, desde entonces ha tenido variaciones importantes con nuevas técnicas e implementación en equipos modernos. El detalle principal de este proceso es el uso de un gas de protección, siendo el más empleado el Argón, para metal fundido y el arco eléctrico del oxígeno y nitrógeno de la atmósfera como se aprecia en la Figura 2.1 Vemetool (2010). Además, la soldadura TIG emplea un electrodo de Tungsteno no consumible de alto grado de

fusión cuyo rango de diámetros es desde 2,38 mm hasta 6,35 mm; este valor depende del tipo de espesor de material que se vaya a soldar. Este proceso se puede aplicar a una amplia gama de materiales como acero hasta aluminio.

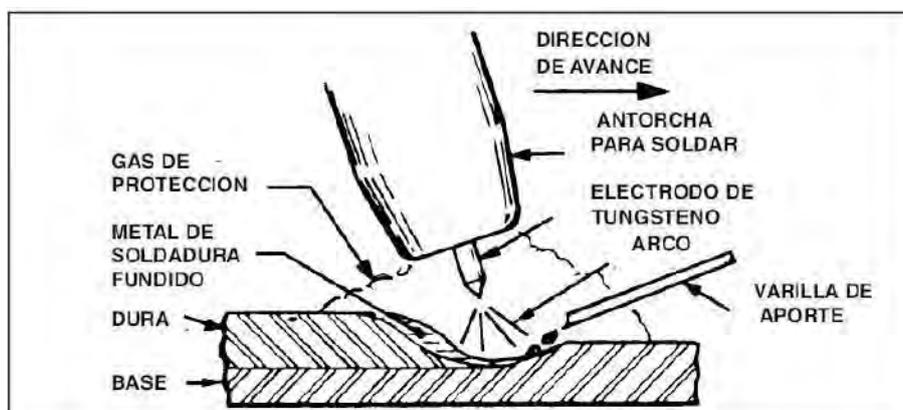


Figura 2.1 – Soldadura de arco con atmósfera de gas inerte (TIG)

Datos: Vemetool (2010).

Gráfico: Elaborado por Vemetool.

El proceso de Soldadura por Arco Eléctrico con Alambre Sólido y Gas (MIG) se realiza mediante una transferencia por cortocircuito, en la cual la fusión se realiza entre el electrodo consumible con el metal base Siguenza (2018). En este proceso de fusión se utiliza un electrodo consumible con bajo punto de fusión y gas protector, el cual puede 100% CO_2 o una mezcla de CO_2 con Argón teniendo esta última un porcentaje del 80% Soldexa (2019). Algunas de las ventajas relevantes de este proceso de soldadura son las siguientes: adecuado para grandes espesores, se requiere menor limpieza de salpicaduras al terminar el cordón y la velocidad de deposición son superiores al proceso SWAM. Duran y Canchila (2016). Los componentes necesarios para el proceso de soldadura son la antorcha de soldadura, la fuente de energía, la fuente de gas protector y su regulador, y el alimentador del cable de electrodo.

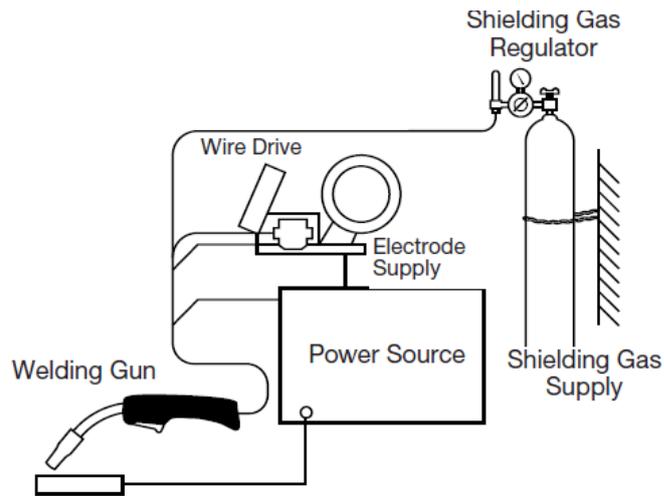


Figura 2.2 – Soldadura por arco eléctrico con alambre sólido y gas (MIG)

Gráfico: <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-mig>

En la industria, las máquinas más utilizadas para los procesos de soldadura son robots tractorares orbitales, brazos articulados y máquinas CNC.

1. Maquinas CNC: Estas máquinas funcionan con control numérico; cuentan con 3 grados de libertad XYZ y permite realizar una soldadura rápida y eficiente.



Figura 2.3 – Maquinas CNC cartesianas para soldadura

Datos: DirectIndustrie.

Gráfico: Elaborado por DirectIndustrie.

-
2. Brazos articulados: Los brazos articulados cuentan con una amplia gama de aplicaciones. Dado su alta fiabilidad y óptimos resultados, disminución de mermas y alta capacidad de repetir el cordón de soldadura se ha masificado su implementación reduciendo los tiempos de producción.



Figura 2.4 – Robot KUKA con antorcha soldadora

Datos: Vemetool.

Gráfico: Elaborado por Vemetool.

3. Tractores orbitales: Estos sistemas son automóviles automáticos los cuales se montan sobre un sistema de riel o guía lo cual le permite trasladarse alrededor de la tubería. Estos sistemas cuentan con cuatro grados de libertad: ángulo de la antorcha, movimiento lateral, velocidad de desplazamiento de la antorcha y el Stick-out Siguenza (2018). Muchos de estas máquinas cuentan con sistemas de comunicación con el usuario, un sistema de transporte, un sistema de seguimiento de soldadura y un sistema de control de calidad. Estas máquinas son adaptables a los diferentes procesos de soldadura como GMAW y GTAW.



Figura 2.5 – Vehículo Orbital para Soldadura de Tubería

Datos: Dynamic Torque.

Gráfico: Elaborado por Dynamic Torque.

De estas tecnologías el más relevante para el diseño que se implementará es el tractor orbital. Por otro lado, uno de los requerimientos específicos para iniciar el proceso de soldadura es definir si la tubería estará fija y el dispositivo de alineación. Primero, se necesita un sistema de sujeción en cual se monta sobre la tubería; este sistema permite alinear las tuberías y además sirve de guía para el sistema automático de soldadura. Esta segunda unidad permite realizar el cordón de soldadura sobre la tubería; este sistema automático de soldadura requiere un sistema de control. Este último permite guiar la antorcha de soldadura sin que esta se desvíe y ya no siga la trayectoria del cordón de soldadura.

Relacionado al sistema automático de soldadura, uno de los diseños implementados es la máquina orbital soldadora con dos anillos divididos de sujeción (EP2543460A1). Esta máquina se aprecia en la Figura 2.6 y Figura 2.7; esta cuenta con un sistema de riel (16) y un piñón (46) en la parte posterior impulsados por un motor (48) para trasladar las antorchas; la máquina está dividida por la mitad lo cual permite realizar un ensamble horizontal para facilitar la instalación y limpieza de obstáculos. El ensamble se logra por medio de pines de sujeción interna y un sistema de ajuste (20). Actuadores lineales (22) mantienen concéntrica la tubería y permiten soldar múltiples diámetros de tuberías. Además, se pueden incluir montar múltiples

antorchas (24) al riel.

Los aspectos más relevantes que se pueden rescatar para el diseño que se realizará es la división que se realiza al mecanismo, la idea de implementar actuadores lineales para mantener concéntricas las tuberías de diámetros variables y el desplazamiento radial de la antorcha por medio de guías (54).

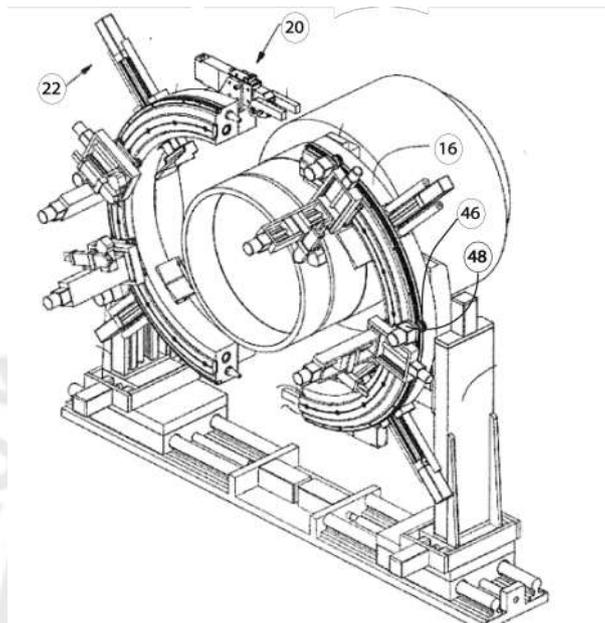


Figura 2.6 – Perspectiva del sistema soldador orbital abierto y montado sobre la estructura

Datos: patente (EP2543460A1).

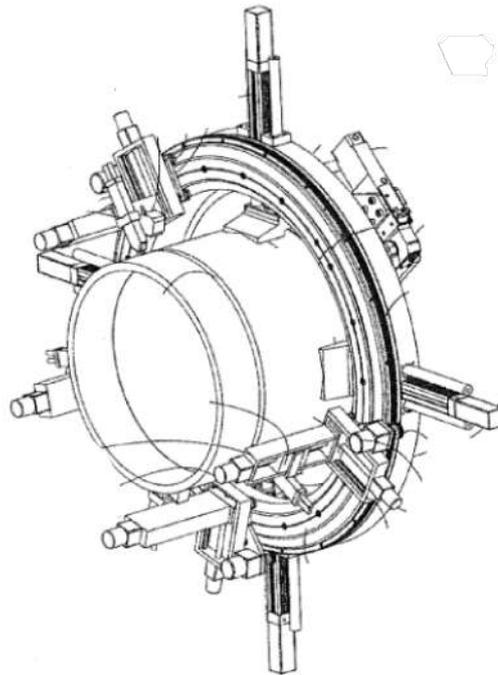


Figura 2.7 – Perspectiva del sistema soldador orbital cerrado

Datos: patente (EP2543460A1).

Máquinas que se adapten a diferentes diámetros de tuberías se han diseñado de modo que permite tener un sistema adaptable y no requerir de diferentes diseños mecánicos para diferentes tuberías. Uno de estos diseños es la Máquina de soldadura orbital con rodillos laterales con curvatura de radio variable dependiendo del diámetro de la tubería (KR20120133357A). Los diseños de la patente se aprecian en la Figura 2.8 y la Figura 2.9. En la primera figura se puede apreciar que la unidad de soldadura cuenta con un par de rodillos laterales (115) con su eje (115a) y su bloque deslizante (116); la posición de este bloque deslizante depende de la posición en la palanca de enganche (113). Este permite ensanchar o estrechar el espacio entre los rodillos laterales. Además, la unidad de soldadura cuenta con un engranaje piñón (121) y un par de árboles de transmisión (117) en los cuales están montados los rodillos de transmisión (119) para así girar el eje de transmisión. Sin embargo, debido a que el diseño debe permitir diámetros variables, es necesario cambiar los ejes (115a) para ajustar la altura de ajuste con el riel Jeongmin (2012).

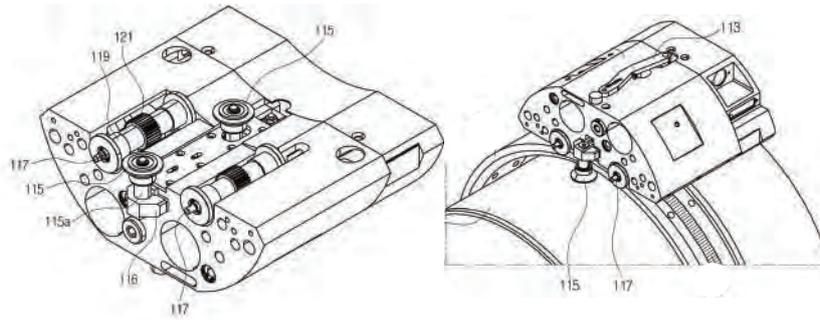


Figura 2.8 – Patente Rodillos laterales2

Datos: patente (KR20120133357A).

Gráfico: Elaborado por Jeongmin (2012).

Por otro lado, el diseño presentado anteriormente presenta deficiencias por lo que se realizó una mejora al diseño. Como se puede apreciar en la siguiente figura, se utiliza un sistema de palanca (70) el cual cuenta con un par de resortes permitiendo establecer un mejor ajuste comparado con el diseño anterior entre el riel (90) y los rodillos laterales (20) al aumentar el área de contacto. También, se puede apreciar que la estabilidad de la unidad de soldadura aumenta al establecer dos pares de ejes (50). El desplazamiento se da por medio del piñón que se encuentra en uno de los ejes y este piñón es impulsado por un juego de engranajes motorizados en el interior. Esta unidad permite inspeccionar las piezas y darles un mejor mantenimiento comparado con el diseño anterior.

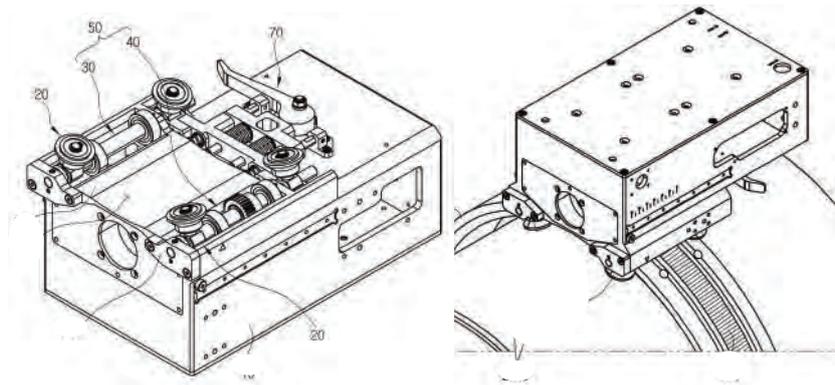


Figura 2.9 – Patente Rodillos laterales2

Datos: (KR20120133357A).

Gráfico: Elaborado por Jeongmin (2012).

A medida que se han estado utilizando las diferentes máquinas de soldadura orbital en la industria, deficiencias que deben afrontar los diseños aparecieron, los cuales serán mencionados más adelante; por lo tanto, se diseñaron máquinas automatizadas que no solo cuenten con una unidad móvil y un riel como sistema de sujeción, sino que se añadieron sistemas de control que permitieran mejorar dichas deficiencias y así mejorar la calidad de la junta de soldadura y el performance de la máquina. Un claro ejemplo de estas máquinas es el Sistema para controlar automáticamente el rebordado de material de soldadura en procesos de soldadura orbital para tuberías de tamaño mediano y grande (EP0684101B1). Esta máquina se aprecia en la Figura 2.10. Esta máquina cuenta con los siguientes componentes: un juego de rodillos (14) los cuales van enganchados a un riel (11) permitiendo el desplazamiento sobre la tubería(12) por medio del piñón (15); un dispensador de alambre (18) y un carrete de almacén (19); la pistola de soldadura (16); y la unidad de control (20). Cabe resaltar que los rodillos cuentan con un enganche en la parte superior lo cual permite ensanchar o estrechar la distancia entre estos permitiendo que la máquina de soldadura se adapte a diferentes diámetros de tuberías.

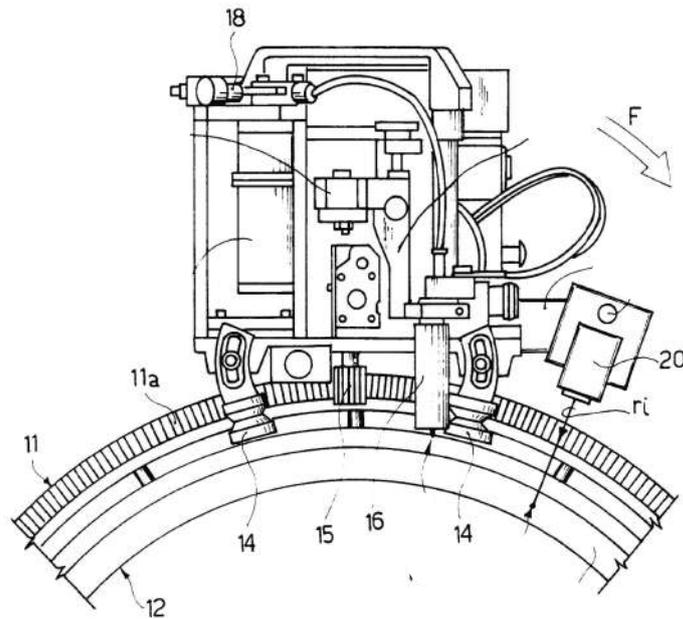


Figura 2.10 – Unidad Soldadora con control sobre la junta de soldadura

Datos: patente (EP0684101B1).

Es evidente que el control automático correcto de los muchos parámetros de soldadura supone que dicho perfil de espacio de soldadura sea constante; sin embargo, como se mencionó anteriormente existen un sinnúmero de inconvenientes por los que la máquina puede llegar a atravesar, por ejemplo, dicho perfil puede sufrir incluso variaciones significativas debido a imperfecciones en el mecanizado, que generalmente se realiza en el sitio, debido a desalineamientos axiales de las tuberías, debido a la linealidad imperfecta de los mismos, y / o debido a la perpendicularidad imperfecta de las secciones de la cabeza con respecto al eje de la tubería a tratar. Cualquier tipo de irregularidad en el material de las tuberías, como huecos, grietas y similares, también puede afectar el perfil del espacio de soldadura, cuyo eje puede además estar al menos parcialmente fuera de la sección transversal perpendicular ideal de la tubería y tener, total o parcialmente, una orientación helicoidal con respecto al eje de la tubería. Por tanto, esto puede conllevar a tener un cordón de soldadura de baja calidad si no se aplican las correcciones necesarias Rinaldi y cols. (1998).

Así, por ejemplo, una discontinuidad constituida por un estrechamiento del perfil del espacio de soldadura se compensa manualmente reduciendo la extensión de la oscilación o la velocidad a la que el alambre de soldadura se alimenta, para reducir momentáneamente el reborde del material de soldadura a fin de mantener constante el grosor del cordón de soldadura a lo largo de toda la circunferencia de la tubería.

Por lo tanto, se diseñó un sistema de medición (20) de tipo láser como se muestra en la Figura 2.11. Este sistema puede desplazarse transversalmente gracias a un tornillo sinfín (220) motorizado (m) . El rayo ri incide sobre un punto en la junta de soldadura y regresa rr ; para cada distancia L el valor de este rayo será diferente. Dicho sensor envía un pulso diferente para cada valor de vector que recibe; este pulso eléctrico es procesado por un circuito (21), tal que la salida es la distancia L_x . Con los valores de las distancias obtenidas se reconstruye topológicamente los perfiles de la junta de soldadura (PC_x) y se compara con los perfiles ideales de la junta de soldadura (PT_x) almacenados en una EEPROM (23). Un circuito comparador (24) y un circuito procesador (25) de dicho resultado envían los resultados a un microcontrolador (26) el cual da las señales a los actuadores para corregir los defectos Rinaldi y cols. (1998).

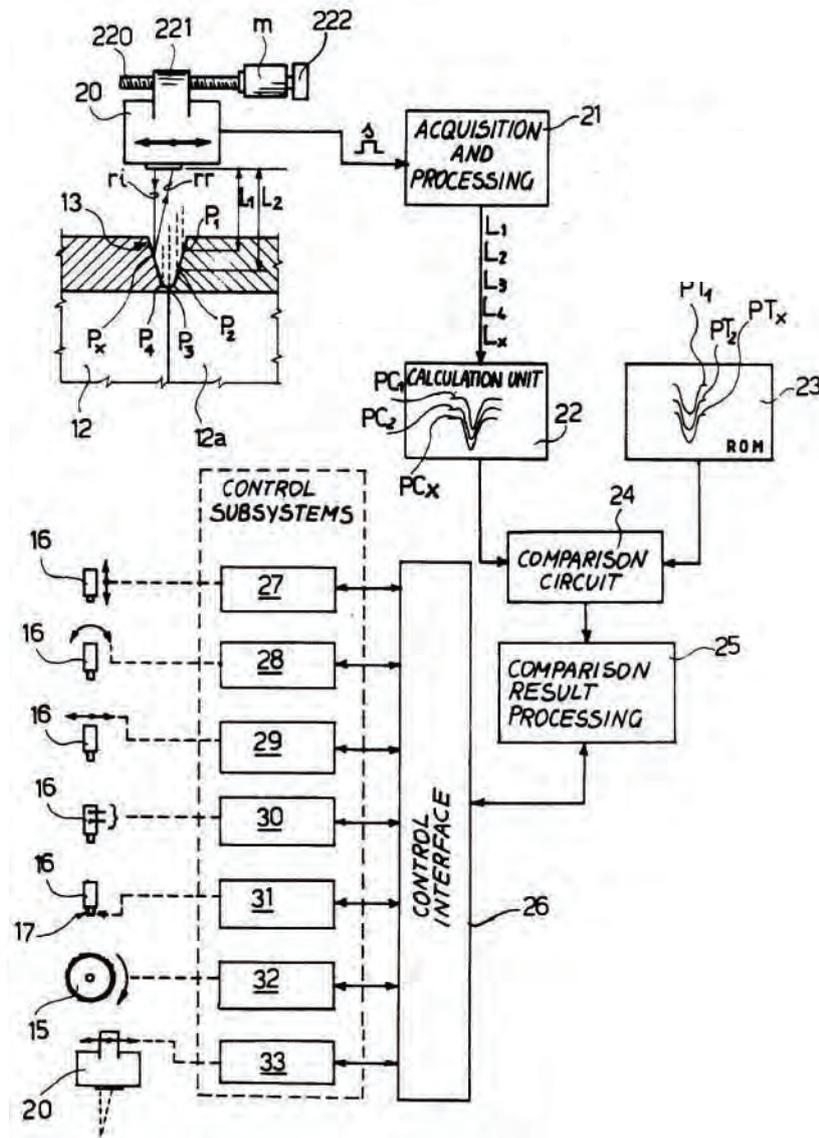


Figura 2.11 – Sistema de medición topológico

Datos: Rinaldi y cols. (1998).

Uno de los aspectos que buscamos implementar en el diseño de la máquina soldadora orbital automática es que sea flexible y que permita obtener una calidad óptima de cordón de soldadura. En la literatura también se encontró la siguiente patente Soldadura Automatizada Móvil y Sistema de Control de Calidad (US005932123A) con un sistema de móvil desmontable del sistema de sujeción. En la Figura 2.12. Este sistema móvil cuenta incluido un sistema

de comunicación. La publicación explica el diseño de un móvil automático para soldadura de tuberías y un sistema de control de calidad. El sistema cuenta con un móvil transportador para una máquina soldadora GMAW y un monitor de adquisición de datos de soldadura. El móvil lleva consigo la antorcha (26), el alimentador de alambre (28), el oscilador motorizado para la antorcha (32, 34) y el mecanismo motorizado para el transporte de la máquina alrededor de la soldadura.

El diseño cuenta con un controlador digital para el motor, oscilador y el alimentador de alambre; además, se cuenta con un sensor de voltaje (118) y corriente (116) para la punta de la antorcha. Toda la información procesada para el controlador es almacenada en una memoria. Esta información le permite al operario realizar ajustes durante el proceso para garantizar la correcta realización del cordón de soldadura.

De la máquina descrita se puede extraer el sistema de translación, el cual consiste en una guía circular (22) y un sistema motorizado (36). Además, otro aspecto rescatable es el uso de motores (38, 31, 32, 34) y tornillos sin fin (44, 40) para desplazar y girar los diferentes mecanismos como la antorcha. Por otro lado, el módulo de soldador (20) tiene montado al módulo de control (46) lo cual se puede considerar un mal diseño, ya que este estará sometido a temperaturas altas e impidiendo al operario manipular el módulo de control con facilidad.

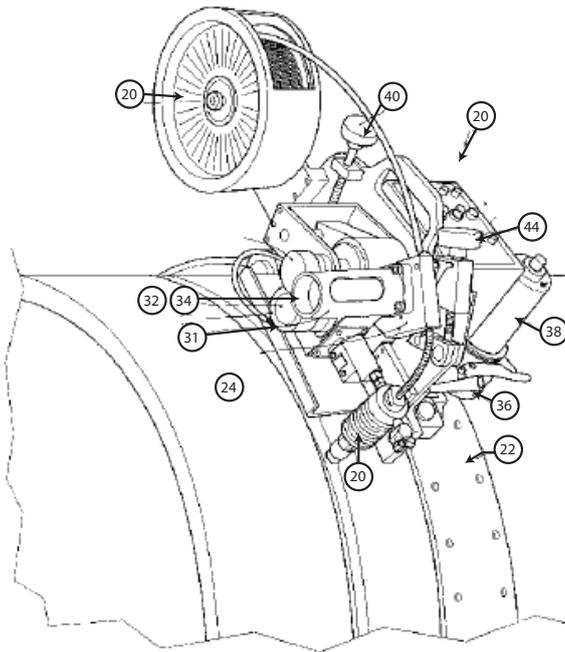


Figura 2.12 – Soldadura Automatizada Móvil y Sistema de Control de Calidad

Datos: patente (US005932123A).

Otro Sistema de Soldadura Orbital automatizado es la diseñada por la empresa LINCOLN GLOBAL (US2015129581A1). Este sistema se aprecia en la Figura 2.13 y es utilizado para soldaduras en tuberías cuya profundidad del cordón de soldadura sean de gran tamaño. En la figura mostrada se aprecia el sistema de soldadura, el cual incluye una antorcha de soldadura TIG (30) con un electrodo (32) y el alimentador de alambre conectados a un carrete (103) el cual provee de alambre (W) para el depósito del material de soldadura en la zona de soldadura (Z).

Los componentes mencionados anteriormente van conectada al cuerpo de la máquina (101), la cual a la vez va montado sobre el sistema de sujeción y alineamiento de la tubería. El electrodo utilizado en el presente diseño es cuenta con la longitud adecuada para la junta de soldadura (G) cuya longitud puede ser superior a los 10 *mm*; a manera de ejemplo, en la figura se muestra un electrodo de soldadura cuya longitud es de 120 *mm*; sin embargo, el diseño no

se limita al uso de longitudes menores o mayores.

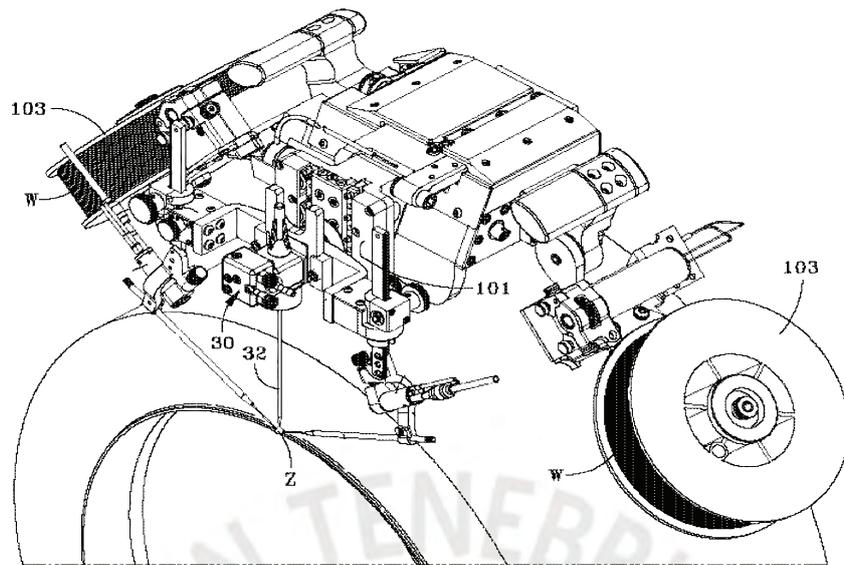


Figura 2.13 – Lincoln Global Sistema automatizado orbital de soldadura

Datos: LINCOLN GLOBAL.

Gráfico: Elaborado por LINCOLN GLOBAL.

En los últimos años, en el Latinoamérica se han ido desarrollando e implementado investigaciones respecto a la automatización del proceso de soldadura orbital para oleoductos y gaseoductos. Dada la necesidad de disminuir los defectos en los pasas de raíz en la junta de soldadura y la elevada demanda de aplicación de soldadura en gaseoductos se desarrolló la siguiente tesis: Diseño y Construcción de un Prototipo de Cabezal para Soldadura Orbital Automática en Pase de Raíz en Tuberías, autora Aucancela (2013b).

Dicho proyecto desarrolló un cabezal de soldadura orbital para tuberías de 8 pulgadas con proceso FCAW. Lo más resaltante del sistema mecánico es el diseño del cabezal, este tiene como objetivo permitir el desplazamiento circular sobre la tubería; está constituido por un sistema guía anillo-riel. Otro aspecto relevante es el sistema de sujeción de la antorcha, el cual permite posicionar la antorcha en los ejes X y Z por medio de un conjunto de engranajes cremalleras; además de permitir el giro en el eje X.

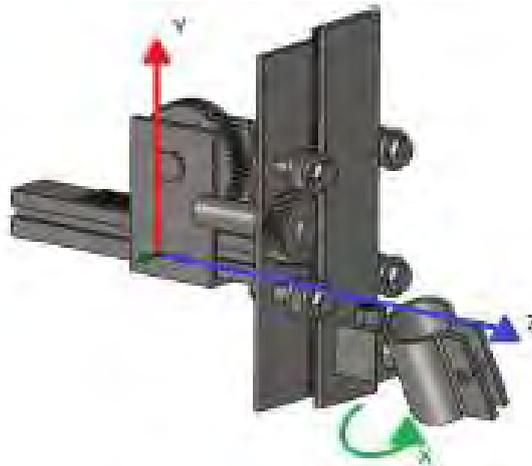


Figura 2.14 – Sistema de sujeción de antorcha

Datos: Aucancela (2013b).

Gráfico: Elaborado por Aucancela Verónica.



Figura 2.15 – Sistema de riel anillo de Bugo System

Datos: Aucancela (2013b).

Gráfico: Elaborado por Aucancela Verónica.

Por otro lado, un aspecto importante en el presente trabajo de investigación a tener en cuenta es la adquisición de datos por parte del operario con los cuales el sistema automático de soldadura orbital va a funcionar. En general, los parámetros de soldadura pueden ser la corriente del arco, el voltaje del arco, una velocidad de desplazamiento de un tractor soldador que realiza el operación de soldadura, velocidad de alimentación de alambre, altura de la antorcha, distancia entre la pieza de trabajo y la antorcha, ancho de oscilación del electrodo, temperatura del alambre de soldadura, temperatura del elec-

trodo, tipo de material de la pieza de trabajo, frecuencia de oscilación del electrodo, polaridad del arco corriente, polaridad de la corriente para el alambre de soldadura, tipo de electrodo, calibre de alambre, material de alambre, oscilación reposo, y toda variación de los controles de proceso avanzados; por ejemplo, mover con controles, frecuencia de pulso, velocidades de rampa, relaciones de nivel de fondo, entre otros.

La empresa LINCOLN GLOBAL diseñó un Método para un Flexpendant para un sistema de soldadura (US2015129581A1). Este flexpedant es una mando de control con el cual se pueden accionar todos los actuadores y en el cual se le pueden añadir las instrucciones. Este mando de control está configurado para recibir una o más entradas por parte del usuario y permite la visualización de datos a través de una pantalla gráfica; además, cuenta con dos interruptores de palanca, dos grupo de botones de mando y una perilla rotatoria. La perilla rotatoria es un control dedicado para el movimiento de la cabeza de la antorcha en relación con la junta de soldadura e incluye además una función de centrado basada en una depresión de la perilla rotativa. El primer conjunto de botones y el segundo conjunto de botones se pueden usar respectivamente para la selección basada en el datos visualizados y selección de ajuste de parámetros. Este diseño de puede apreciar en la Figura 2.16

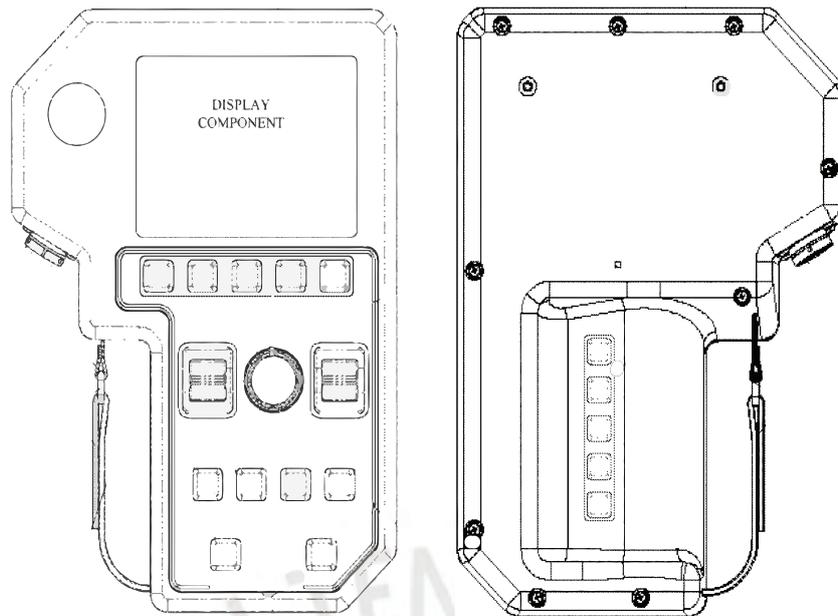


Figura 2.16 – Lincoln Flexpendant

Datos: LINCOLN GLOBAL.

Gráfico: Elaborado por LINCOLN GLOBAL.

En la Figura 2.17, se puede apreciar la conectividad que existe entre el Flexpendant y el Sistema de Soldadura; este sistema puede ser un sistema automatizado de soldadura como un sistema de soldadura convencional. El Sistema de soldadura cuenta con su controlador y su fuente de alimentación; estos dos últimos, por medio de los parámetros ingresados en el Flexpendant, reconfiguran y gestionan el proceso de soldadura. Por otro lado, el Flexpendant cuenta con una fuente de alimentación, la cual es encargada de suministrar energía a los diferentes componentes como la memoria, el procesador, los periféricos de salidas y los componentes de entrada.

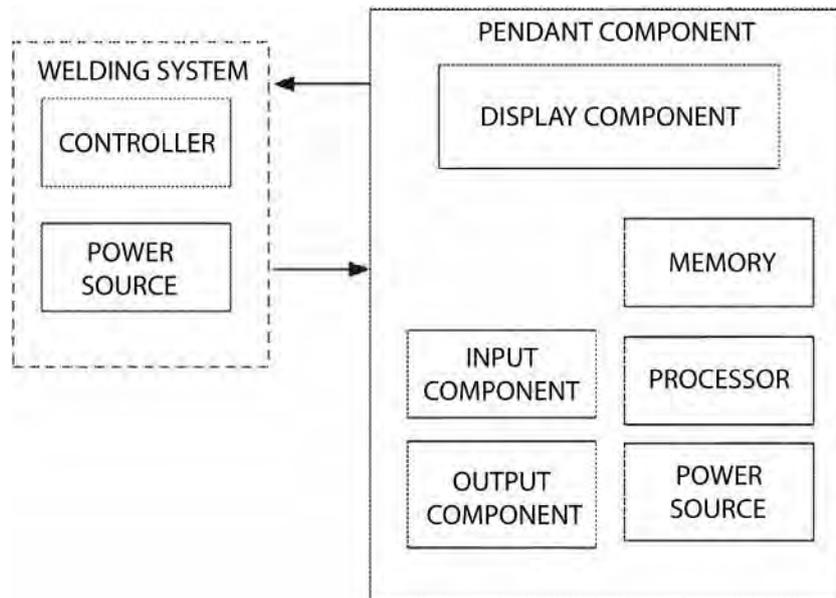


Figura 2.17 – Comunicación LINCOLN Flexpendant y Sistema de Soldadura

Datos: LINCOLN GLOBAL.

Gráfico: Elaborado por LINCOLN GLOBAL.

Respecto al sistema automático de soldadura, muchos diseños se han logrado implementar en la industria y se comercializan en la actualidad. Uno de los modelos comerciales que se desarrolló para soldadura de tuberías es Delta 800 RITMO Ritmo (2019). Esta máquina soldadora es idónea para la fusión de tubos de presión y drenaje para fluidos. Para cada diámetro de tubería se selecciona una máquina diferente; en la Figura 2.18 se puede apreciar la máquina para diámetros de 800mm. Lo relevante de este diseño es sus tres mordazas electro-hidráulicas, las cuales sujetan y alinean las tuberías. Esto permite cerrar y abrir las mordazas de manera automática. Sin embargo, la principal desventaja de este producto comercial es la incapacidad de adaptarse a múltiples diámetros y requerir una máquina para cada tipo de tubería.

Tabla 2.1 – Características Técnicas Delta 800 RITMO

| | | |
|--|--|--|
| PLUS 500 ÷ 800 mm AGUA - GAS - OTROS FRESADORA LIBERACIÓN RÁPIDA "DIGITAL DRAGON" * Generador recomendado 30kVA | Rango de trabajo | 500 ÷ 800 mm; 20" IPS ÷ 30" IPS |
| | Materiales | HDPE, PP, PVDF Para otros materiales contactar RITMO S.P.A. |
| | Alimentación | 400 V 3F+N+PE 50/60 HZ |
| | Potencia total absorbida * | 16500 W |
| | T° de ejercicio | 180° ÷ 280° C |
| | T° ambiente de uso | -10° ÷ 40° C |
| | Tiempo en que se alcanza T° de uso | < 45' |
| | Dimensión cuerpo alineador (A x L x H) | 2100 x 1350 x 1300 mm |
| | Peso cuerpo alineador | 821 Kg |
| | Peso composición estándar | 1260 Kg |

Fuente: Elaborado por RITMO.



Figura 2.18 – Delta 800 RITMO

Datos: DELTA RITMO.

Gráfico: Elaborado por DELTA RITMO.

Como se mencionó empresas reconocidas como Lincoln Electric diseñaron Sistemas Automatizados de Soldadura Orbital; estos diseños han llegado a ser implementados y puestos en venta a las industrias permitiendo facilitar la realización de los diferentes procesos de soldadura, mejorar la calidad de soldadura y reducir los costos de operación. Uno de estas máquinas

automatizadas en soldadura orbital es el conjunto de soldadura APEX™ 2100 Orbital Welding System como se aprecia en la Figura 2.19. Los múltiples sistemas de dicho conjunto son los siguientes:

- Controlador APEX™ Orbital Controller Unit & Pendant
- Tractor soldador HELIX™ T55 Weld Head
- Track Ring
- Fuente de poder Power Wave® S500 Power Source
- Mobile Workstation Cabinet



Figura 2.19 – Lincoln Electric APEX™ 2100

Datos: Lincoln Electric.

Gráfico: Elaborado por Lincoln Electric.

El Controlador APEX™ 2100 es un sistema totalmente integrado y sincronizado para controlar la oscilación mecánica y magnética, el control de la altura de la antorcha(AVC) y la alimentación de alambre y gas. Este controlador puede ser sostenido con una sola mano lo

cual le permite al operario acceso inmediato al monitoreo, ajuste y control de los parámetros de soldadura. Se pueden almacenar hasta 90 programas de soldadura en el controlador o en una memoria USB. También, toda la información y los datos de soldadura se almacenan y pueden ser usados para reportes analíticos y estadísticos en el futuro.

El sistema de sujeción, Figura 2.20, por el cual se desplaza el tractor de soldadura, está constituido por un sistema de engranaje circunferencial en el centro lo cual le provee al tractor de soldadura estabilidad y consistencia en el recorrido eliminando posibles deslizamientos. Ese sistema de sujeción permite adaptarse a diferentes diámetros de tuberías por medio de un conjunto de soportes radiales extras que se pueden montar de manera manual permitiendo reducir el diámetro de sujeción desde 0.25" (6,35 mm) hasta 3" (80 mm) por cada soporte radial extra; estos soportes cuentan con un sistema de resortes lo cual le permite trabajar en superficies con expansión térmica y eliminar la distorsión del anillo. De los modelos comerciales, el sistema de sujeción de 32" (813 mm) está constituido por dos secciones y puede incluir cinco soportes radiales extra Lincoln Electric (2020c). Por lo tanto, dicho sistema de sujeción con un grupo de soportes radiales podría albergar el rango de diámetros de tuberías a soldar en el presente trabajo de investigación.

Por último, el tractor de soldadura orbital HELIX™ T55 Weld Head, Figura 2.21, está diseñado para ser liviano y duradero; portátil y fácil de instalar, operar y reparar. Su diseño de perfil bajo permite que el tractor suelde en espacios reducidos. El cabezal de soldadura proporciona una velocidad de soldadura constante durante todo el proceso de soldadura y tiene una configuración superior de alimentación de alambre. Una perilla de sujeción asegura el tractor a la pista-anillo que permite una configuración rápida por una sola persona y una liberación del embrague desengancha el engranaje de la pista permitiendo al operador reposicionar el tractor en cualquier lugar de la superficie de trabajo en segundos. El espacio libre radial mínimo de la tubería de superficie es de 5.5" (140 mm); el juego axial mínimo es 11.5" (295 mm); el desplazamiento radial de la antorcha de soldadura es de 5.61" (142 mm) Lincoln Electric



Figura 2.20 – Lincoln Electric Helix Track

Datos: Lincoln Electric.

Gráfico: Elaborado por Lincoln Electric.

(2020a).

Otra de las empresas en el rubro de la automatización de máquinas soldadoras orbitales y lineales es Fronius, uno de las máquinas más representativas es el FlexTrack 45 Pro, Figura 2.22, carro de soldadura para procesos de soldadura MIG/MAG. Lo relevante de esta máquina es la versatilidad, accesibilidad y el sistema modular. Los rieles que utiliza pueden modificar su forma y adecuarse a cualquier superficie, rectos o de anillos. Cuenta con una Caja de Control para conexión del carro y del mando a distancia. Además, cuenta con grupo de guías motorizadas lo cual le permite un ajuste automático de la distancia entre la antorcha y la pieza de trabajo; por lo tanto se puede controlar la longitud del arco



Figura 2.21 – Lincoln Electric Helix Head

Datos: Lincoln Electric.

Gráfico: Elaborado por Lincoln Electric.



Figura 2.22 – Fronius Flextrack 45 Pro

Datos: Fronius.

Gráfico: Elaborado por Fronius.

| Características | Fronius Flextrac 45 Pro | Helix T55 y Aro Guía | Lincoln Sistema Orbital ONE-PAK |
|------------------------------------|--|--|-----------------------------------|
| Procesos de soldadura | MIG/MAG CMT | TIG | TIG |
| Voltaje de entrada | 115/230 V | 25V DC | 115V |
| Corriente de entrada | 50/60 Hz | | 50/60Hz: 5A |
| Peso y dimensiones | 45/30Kg 400x300x550 mm | Radial 140mm Axial 295mm 25.9 KG | 35.4 Kg 876 x 241 x 668 mm |
| Controlador | SI | | SI |
| Soldadura en tiempo real | | | SI |
| Ergonomía | SI | SI | SI |
| Durabilidad | Bajo condiciones adversas | | Maltrato ambiental y del operador |
| Integración | Compatible con fuentes de potencia TPS/i | Re-ubicación rápida de cabezal | Fácil integración |
| Modular | D | NO | NO |
| Valor de protección de entrada IEC | IP 23 | NO | NO |
| Velocidad de desplazamiento | 5-300 cm/min | 1-20 imp.(25-500 mm) | |

Tabla 2.2 – Comparación máquinas comerciales

Fuente: Elaboración propia.

Uno de los objetivos del proyecto es diseñar un sistema autónomo que permita reducir la intervención de los operarios para montar la máquina de soldadura sobre la tubería y que el mismo sistema se ubique sobre la junta de soldadura. Este sistema autónomo permitiría reducir los tiempos de elaboración de cordones de soldadura, ya que un solo soldador calificado podrá ser capaz de supervisar todo un conjunto de módulos de soldadura operando a la misma vez.

Para la detección de la junta de soldadura y trasladar el sistema mecatrónico sobre la junta de soldadura se pueden implementar sensores junto con algoritmos matemáticos, visión por computadora, entre otros métodos. La clave para diseñar robots móviles automatizados es la implementación de tecnologías de navegación y localización Zhao y cols. (2017). En la actualidad, localizar y detectar objetos y obstáculos en las trayectorias de los robots ha sido investigado por muchos académicos y empresas para implementarlos en sus sistemas de producción para hacerlos más sofisticados e independientes.

De la literatura recopilada una de las publicaciones que podemos rescatar es la tecnología de localización para robots de interiores basados en sensores láser Zhao y cols. (2017), a la vez sistemas detectores de obstáculos los cuales se basan en tecnologías láser Gómez (2004); este tipo de sistemas impide la colisión del sistema robotizado. Y, por último, detección y contador de vehículos basado en visión por computadora Seenouvong (2016); estos algoritmos se explican a detalle más adelante.



2.2 Marco Teórico

La necesidad de implementar un sistema de control de velocidad de translación de la antorcha de soldadura es requerida y tiene mucha relevancia en el desarrollo de sistemas automatizados API 1104 (1999). Se conocen múltiples sistemas de control: control de lazo abierto, control de lazo cerrado, control robusto y algoritmos de control secuenciales Rodríguez (2013). De la patente, un Móvil automático para soldadura de tuberías y un sistema de control de calidad (5932123), se aprecia en la Figura 2.23 el diagrama de flujo del monitor de soldadura. El monitor inicializa con un diagnóstico; luego, el microcontrolador revisa si se recibió alguna señal externa por el puerto de comunicación. En el caso de que se haya recibido algún parámetro, se procede a procesar los datos; estos son mostrados en una interfaz gráfica y pueden ser modificados por el operario. En todo momento, se muestra en esta interfaz los niveles de voltaje, amperaje, velocidad del móvil, la oscilación de la antorcha, la velocidad de alimentación de alambre. Se calcula el calor instantáneo y se muestra el valor al operario. Además, el microcontrolador revisa si hay nueva información proporcionada por parte del operario. Si se da el caso, actualiza los parámetros. Durante el proceso de soldadura los parámetros que se obtienen por medio de los sensores se obtiene el Root Mean Square (RMS) de la señal e inmediatamente se actualizan los valores.

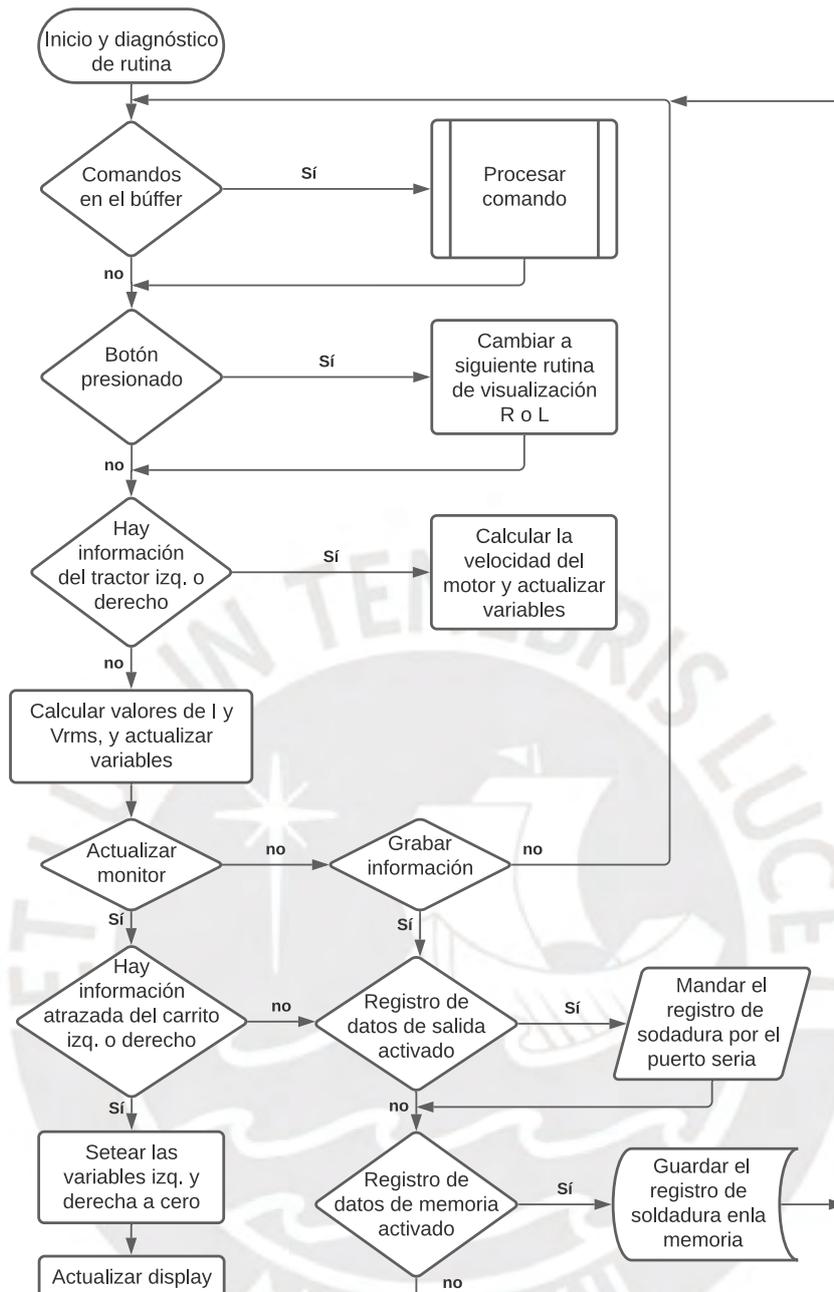


Figura 2.23 – Adaptación del algoritmo de control

Gráfico: Adaptación, Aucancela (2013b)

Por otro lado, ya que se busca la implementación de sistemas de control más baratos y accesibles para los consumidores locales, se opta por realizar sistemas de control de lazo cerrado basados en un microcontrolador y drivers para el accionamiento y corrección de ve-

locidades de los motores DC implementados en los sistemas de traslación. En la tesis, en la cual se desarrolla el Prototipo de cabezal de soldadura orbital para el pase de raíz en tubería de 8 pulgadas con proceso FCAW se utiliza el algoritmo de control secuencial para motores con una señal PWM (Pulse Width Modulation), Figura 2.24

Se realiza una lectura constante de la velocidad actual de los motores y se comparan con la velocidad de referencia de estos. La señal PWM se incrementa si la velocidad actual es inferior al de referencia; se disminuye caso contrario.

Lo resaltante de este control es su la simplicidad y facilidad de implementar; además, es sencillo programar dicho algoritmo. Sin embargo, el principal problema que presenta este control es no poder alcanzar el valor establecido o deseado (setpoint).



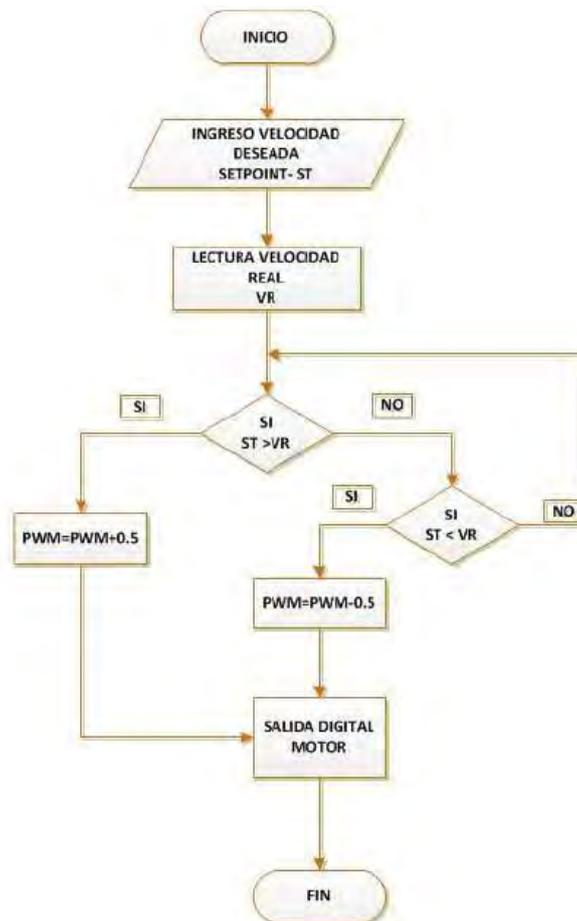


Figura 2.24 – Algoritmo de control

Datos: Aucancela (2013b).

Gráfico: Elaborado por Aucancela (2013b).

Los motores DC encargados del desplazamiento deben contar con sus drivers para su control. Se seleccionó un driver Puente H con mosfet; este circuito electrónico está constituido principalmente por 4 mosfet, los cuales dependiendo de la corriente de entrada que se le suministren se puede controlar el sentido de giro de los motores DC: avance y retroceso; este circuito y su funcionamiento se aprecian en la Figura 2.25 y 2.26.

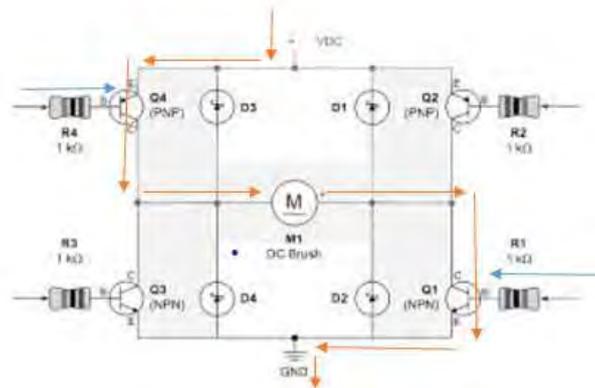


Figura 2.25 – Driver para motor puente H giro Horario. Adaptación propia

Datos: Aucancela (2013b).

Gráfico: Elaborado por Aucancela Verónica.

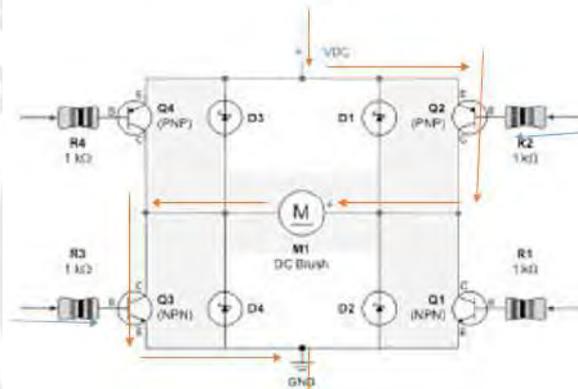


Figura 2.26 – Driver para motor puente H giro Anti-Horario. Adaptación propia

Datos: Aucancela (2013b).

Gráfico: Elaborado por Aucancela Verónica.

Este tipo de driver se seleccionó por la Corriente máxima de soporte; se detalla que la máxima admisible por los drivers debe ser 30% superior a lo que requieren los motores; en este caso se seleccionó un driver con capacidad hasta de 10 Amperios. Además, se puede aplicar el control con PWM con un L293D; por último, cuenta un aislamiento entre circuito de control y circuito de potencia del mosfet. La etapa de aislamiento es muy importante en el diseño

de componentes electrónicos debido a que no se deben combinar los voltajes y corrientes del sistema de control con el de potencia; por ejemplo, podemos usar componentes como el Optotriac.

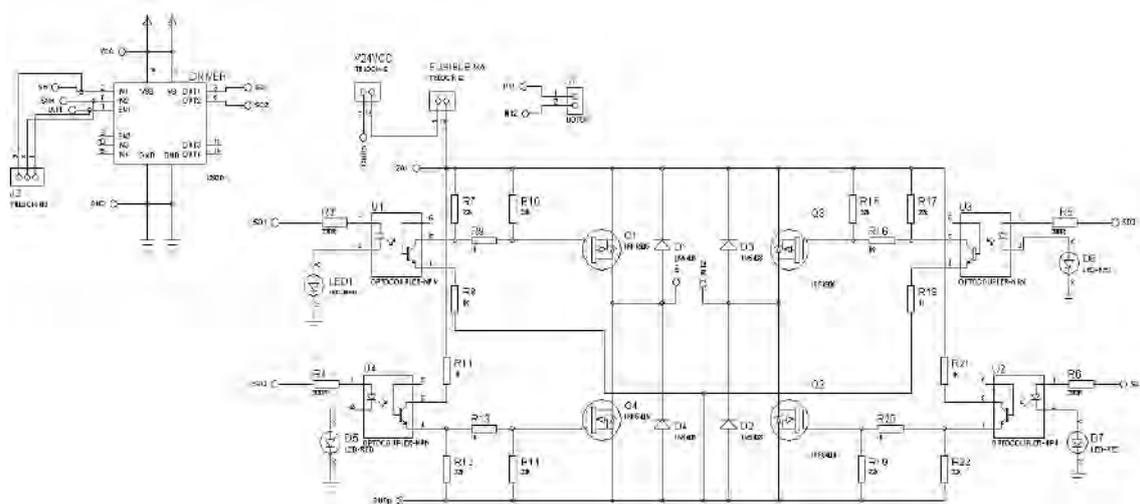


Figura 2.27 – Disposición electrónica de los drivers y motores

Datos: Aucancela (2013b).

Gráfico: Elaborado por Aucancela Verónica.

Por otro lado, es necesaria la implementación de una interfaz gráfica y adquisición de datos lo cual garantice una correcta comunicación entre el operario y recopilación de datos para poder determinar si la soldadura cumple con las normas establecidas según API 1104.

Del documento de investigación mencionado se puede rescatar la implementación de una interfaz gráfica, en el cual se pueden establecer el sentido de giro de la antorcha, pausar la antorcha, podemos visualizar la velocidad deseada, así como el tiempo de soldeo. Por lo tanto, diseñar una interfaz gráfica con un HMI, por ejemplo, permitirá tener un entorno amigable y entendible para el usuario quien podrá visualizar y ajustar los diferentes parámetros de la antorcha como velocidad, ángulo, voltaje, etc.

Por otro lado, un aspecto imprescindible es la integración de un sistema de adquisición de datos para la lectura, conversión y procesamiento de las diferentes señales captadas por los

sensores. Por ejemplo, se puede utilizar la tarjeta de adquisición de datos DAQ USB-6008 o MyRIO1900. Estos dispositivos requieren el software LabVIEW; este es una plataforma con un entorno de desarrollo que permite diseñar sistemas, se utiliza un lenguaje de programación visual que permite hacer pruebas en sistemas de hardware y software. A continuación, en la Figura 2.29 se muestra la interfaz gráfica desarrollada en la tesis para un proceso de soldadura orbital.



Figura 2.28 – Sistema de adquisición de datos. Diseño propio

Datos: Aucancela (2013b).

Gráfico: Elaborado por Aucancela Verónica.



Figura 2.29 – Interfaz Gráfica

Datos: Aucancela (2013b).

Gráfico: Elaborado por Aucancela Verónica.

Las máquinas automáticas y semi-automáticas encargadas de realizar un proceso de soldadura son diseñadas de modo que la antorcha de soldadura este posicionada a una distancia fija de las piezas a soldar Rieder (2015). Este método tiene limitaciones y funciona para procesos de soldaduras de poca duración o cuando las piezas a soldar están correctamente alineadas sin ningún margen de error Rieder (2015).

Este problema conlleva a la necesidad de integrar sistemas de seguimientos de soldadura para controlar con precisión la separación entre la antorcha de soldadura y las piezas a soldar. Algunos de los métodos empleados para el seguimiento de soldadura son los siguientes:

- Sistema de Seguimiento Táctil: Aquí se utiliza una pieza mecánica de alta sensibilidad que hace contacto con la junta de soldadura. Un software permite saber cuánto es la desviación de la punta de la pistola de soldadura respecto al puntero. La mayor desventaja de este sistema es el tiempo de trabajo en cada búsqueda Rieder (2015).
- Sistema de Seguimiento Láser: En este sistema de seguimiento se utiliza un láser, el cual es proyectada sobre la superficie de la junta. Este laser es analizado por una cámara; esto

permite realizar cordones de soldadura con gran exactitud a pesar de que las piezas no se encuentren bien alineadas. Rieder (2015)

Este tipo de tecnologías de seguimiento han sido estudiadas a profundidad y han sido implementadas en diferentes empresas para mejorar sus procesos de soldadura. Por ejemplo, de la literatura recopilada, una de las publicaciones es Seam Tracking Welding System (US4021840A). Este es un sistema en el cual el sistema de soldadura realiza un tracking de manera automática al cordón de soldadura. El sistema de servo-driven tracking emplea un cámara escáner rastreadora como un sensor óptico. Esta cámara es posicionada sobre el cordón de soldadura apuntando la luz láser perpendicularmente al cordón de soldadura. La cámara produce pulsos de voltaje las cuales coinciden exactamente con la posición al momento en el que la línea del escáner intercepta la junta. El tiempo de incidencia del pulso es comparado con el pulso de sincronización estándar de la Cámara.

Una de las empresas dedicadas al diseño de sistemas de seguimiento es Servo-Robot. El modelo i-CUBE es el único multisensor compactado en un cubo, el cual puede ser integrado a múltiples robots industriales. Servo Robot Inc (2013). Este producto cuenta con una plataforma en la cual se desarrolla la programación de la información recopilada y presenta las siguientes características.

- Resistente a las altas temperaturas de soldadura.
- Cuenta con un medidor laser 3D
- Un procesamiento de imágenes por video cámara



Figura 2.30 – Servo-Robot i-cube 100L

Datos: Servo Robot industri.

Gráfico: Elaborado por Servo Robot.

Selección del sistema de seguimiento FANUC es una compañía que ofrece productos y servicios de automatización industrial como robots y sistemas de control numérico. De la Tabla 2.3 proporcionada por FANUC se aprecia que para el proceso de soldadura GTAW la única opción viable es utilizar el sistema de seguimiento Seam Tracking; por lo tanto, para el diseño de la máquina soldadora orbital se podría utilizar dicho sistema de seguimiento.

Tabla 2.3 – Adaptación FANUC Sistema de seguimiento respecto a los procesos de soldadura

| | Lasers | Contacto |
|---------------------------------|----------------------------|---------------------|
| Seam Finder | SI | SI |
| Seam Tracker | SI | NO |
| Capacidad Adaptativa | SI | Limitado |
| Tipo de juntas | Todos | Lap, Fillet |
| Tipo de materiales | Materiales no reflectantes | Todos |
| Separación mínima de biseles | 0.8mm | 2mm |
| Complejidad de programación 1-5 | 4 | 2 |
| Mantenimiento requerido 1-5 | 3 | 1 |
| Procesos de soldadura | Mayoría de procesos | Mayoría de procesos |

Datos: FANUC.

Gráfico: Elaborado por FANUC.

Otro aspecto relevante para el desarrollo de este trabajo de investigación es la correcta selección de la antorcha de soldadura a utilizar; esta debe poder integrarse al diseño a realizar, además de poder realizar los diferentes procesos de soldadura a realizar como GMAW o GTAW. EDRtorches es una empresa dedicada a la fabricación de antorchas de soldadura para robots colaborativos. Dependiendo del tipo de robot que se diseñe (industriales o de servicio), la empresa ofrece tres tipos de antorchas para procesos de soldadura TIG como en la Figura 2.31: iBOT, con eje hueco para el cableado interno; eBOT, eje macizo para cableado externo y cBOT, para sistemas de alta velocidad.



Figura 2.31 – Antorchas iBot y eBOT

Datos:EDRtorches.

Gráfico: Elaborado por EDRtorches.



Figura 2.32 – Antorcha BOT-T5W

Datos: EDRtorches.

Gráfico: Elaborado por EDRtorches.

El cuello de las antorchas de la Figura 2.32 que ofrece la empresa para procesos TIG es

el producto BOT-T5W; este puede usar o no suministro de hilo como se aprecia en la Figura 2.31. Cuenta con un sistema de refrigerado por líquido de alta potencia lo cual le permite operar durante periodos de trabajo prolongados.

El cable de energía de la Figura 2.33 proporcionada por la empresa soporta altas cargas mecánicas, así como fuertes movimientos mecánicos. Esto garantiza la seguridad contra ruptura de los componentes. Además, de manera opcional, al cable se le puede acoplar un sensor como en la Figura 2.34 para detectar el contacto de la boquilla con la superficie. La longitud del cable a utilizar en el diseño depende del tipo de robot a emplear.



Figura 2.33 – Cable de energía

Datos: EDRtorches.

Gráfico: Elaborado por EDRtorches.



Figura 2.34 – Sensor de boquilla

Datos: EDRtorches.

Gráfico: Elaborado por EDRtorches.

El sistema anticolidión de la Figura 2.34 tiene como función desactivar el robot en caso se detecte una colisión con la pistola de soldadura en cualquier dirección por medio de tres sensores independientes. Las características del Sistema anticolidión eBOT se pueden apreciar en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 – Características del Sistema Anticolidión eBOT

Fuente: Elaborado por EDRtorches.



Figura 2.35 – Sistema Anticolidión eBOT

Datos: EDRtorches.

Gráfico: Elaborado por EDRtorches.

AbicorBinzel Robotic System, la primera antorcha, “ABITIG WH” LIQUID COOLED es una antorcha con gran flexibilidad y se adapta de manera rápida a los diferentes entornos de soldadura. El recorrido de la antorcha se puede reproducir. Tiene un sistema alimentador de alambre. Cuenta con una capacidad mayor a 400A. Permite soldadura en tuberías. La segunda antorcha es un diseño compacto y es una excelente opción para trabajos de soldadura en geo-

metrías sencillas. Este diseño compacto le permite disipar el calor de manera más eficiente; por lo tanto, ofrece tiempo de servicios más prolongados. Permite soldadura en tuberías.



Figura 2.36 – Antorcha ABITIG MT 500W

Datos: Robotic System.
Gráfico: Elaborado por Robotic System.

Tabla 2.5 – Características del Sistema ABITIG MT 300-500W



| Technical data (EN 60 974-7): | |
|-------------------------------|----------------------|
| ABITIG® MT 300 W | |
| Type of cooling: | liquid cooled |
| Rating: | 300 A DC 210 A AC |
| Duty cycle: | 100 % |
| Electrode Ø: | 1.6 - 4.8 mm |
| Torch geometries: | 0° |
| ABITIG® MT 500 W | |
| Type of cooling: | liquid cooled |
| Rating: | 500 A DC 350 A AC |
| Duty cycle: | 100 % |
| Electrode Ø: | 1.6 - 6.4 mm |
| Torch geometries: | 0° |

Datos: Robotic System.
Gráfico: Elaborado por Robotic System.

Del mercado podemos apreciar que se cuenta con una gran variedad de antorchas automatizadas para integrarlas a diferentes sistemas robotizados. La elección del tipo de antorcha

depende del proceso de soldadura a utilizar, en este caso soldadura GTAW, y el tipo de robot a utilizar. El diseño de la máquina soldadora orbital que se realizará se utilizará en campo; por lo tanto, si se desea integrar una antorcha automatizada al diseño se tendrá que considerar las diferentes condiciones de trabajo como, por ejemplo, posibles golpes, fatiga de la antorcha debido a los largos ciclos de trabajo.

Algunas empresas optan por diseñar mecanismos ligeros para tuberías de diámetros inferiores a las 10'' permitiendo la facilidad de transporte a diferentes estaciones. La pinza desarrollada por la empresa Orbitalum es una pieza metálica, la cual comprende de dos aros móviles pivoteados por un eje. Este se utiliza para la soldadura tubo-fondo, tubo-tubo, tubo-brida diámetros desde 1/8'' hasta 6'' como en la Figura 2.37 gracias a sus placas de sujeción de tuberías de diámetros variables.

Lo resaltante de este modelo comercial es el mecanismo que permite el desplazamiento circular y control de velocidad de la antorcha es un juego de engranajes, accionados por un motor eléctrico interno. Este mecanismo puede actuar como remplazo a los típicos modelos comerciales de sistema cremallera-piñón.



Figura 2.37 – ORBITATUM Soldadura Orbital Cerrada

Datos: ORBITATUM.

Gráfico: Elaborado por ORBITATUM .



Figura 2.38 – Disposición de engranajes

Datos: ORBITATUM.

Gráfico: Elaborado por ORBITATUM.

Por otro lado, para transportar el sistema de soldadura automática sobre la junta de soldadura se requiere un sistema de detección y localización de estas juntas, y posicionar el vehículo sobre la misma. Uno de los métodos empleados en la detección de obstáculos y objetos es por medio de visión por computadora en la publicación realizada para la detección y contador de vehículos basado en visión por computadora Seenouvong (2016) se emplean un diagrama de flujo de visión como se muestra en la Figura 2.39. El proceso consiste en detectar la diferencia de tonalidades entre el color de fondo y el color del carro; esto se logra por medio de la humbralización, en donde se divide la imagen en dos zonas por medio de la comparación de píxeles. Dado que el color del fondo siempre es el mismo y no hay movimiento de píxeles en esa zona, se extraen los píxeles del fondo y se queda con la región de interés como se aprecia en la Figura 2.40 , siendo en este caso el carro. Por último, se extrae el centroide del carro para obtener su posición dentro de la imagen y futuro análisis de velocidad del carro, y se añade la cuenta del contador de carros en una unidad.

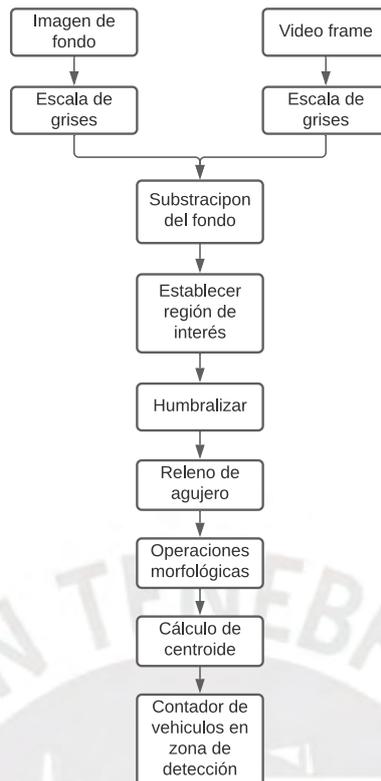


Figura 2.39 – Adaptación Detección de vehículo basado en visión por computadora

Datos: Seenouvong (2016).

Gráfico: Elaborado por Seenouvong .



Figura 2.40 – Región de Interés

Datos: Seenouvong (2016).

Gráfico: Elaborado por Seenouvong .

Otra alternativa para la detección de obstáculos en sistemas autónomos es por medio de la tecnología láser. Este sistema cuenta con dos funciones principales: transmisor y receptor Gómez (2004) como se aprecia en la Figura 2.41 lo cual le permite transportar el vehículo motorizado alrededor de un entorno. El método consiste en la emisión de un rayo láser y la potencia reflejada de cualquier obstáculo permite determinar a qué distancia se encuentra el obstáculo (ver Figura 2.42). Para emitir un rayo láser se tienen que tener en cuenta las condiciones del entorno, desde la iluminación hasta el tipo de alimentación del puntero láser, ya que si en el entorno existe ondas de la misma intensidad del rayo láser se tomarán mediciones erróneas; esto se soluciona con la modulación de un oscilador sinusoidal y un amplificador operacional. Para la selección de la frecuencia del oscilador se es necesario un estudio sobre el tipo de puntero láser a utilizar y el tipo de iluminación al cual se está expuesto. Gómez (2004)

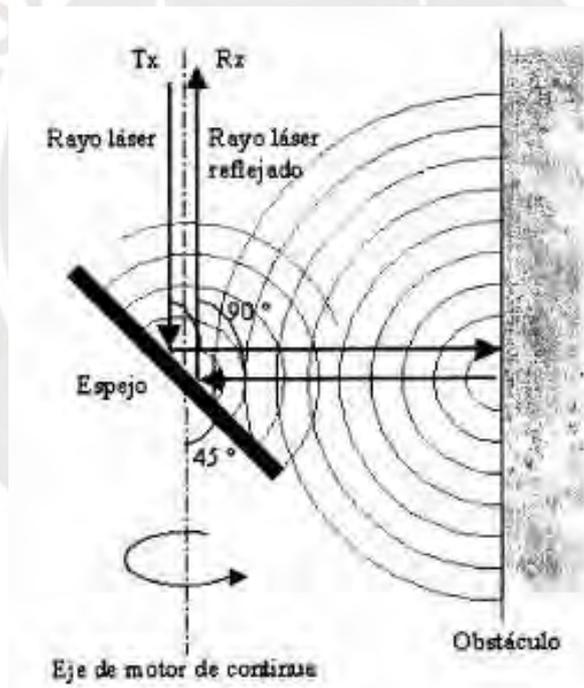


Figura 2.41 – Transmisión y Recepción de rayo láser

Datos: Gómez (2004).

Gráfico: Elaborado por Gómez.

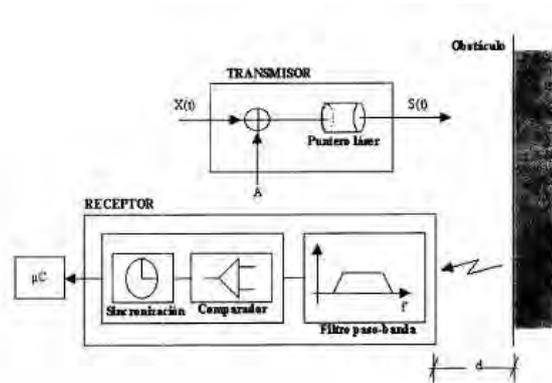


Figura 2.42 – Diagrama esquemático

Datos: Gómez (2004).

Gráfico: Elaborado por Gómez.

Por lo tanto, de los dos métodos explicados podemos concluir lo siguiente: para la detección por medio de procesamientos de imágenes resulta ser un proceso más simple de programar comparado con el sistema láser ya que nos permite obtener la región de interés con pura programación y los problemas de iluminación del entorno también pueden ser solucionados con programación; sin embargo, implementar un sistema de visión por computadora implica incrementar los costos, ya que es necesario adquirir una cámara la cual, además, debe ir montada al sistema automático de soldadura aumentando los componentes mecánicos de la misma. Mientras tanto, el uso de un láser para detectar obstáculos implica diseñar un circuito de pequeñas dimensiones, la cual puede acoplarse al sistema automático de soldadura de manera más fácil que la cámara; sin embargo, el diseño de los componentes electrónicos para el correcto funcionamiento del láser implicaría realizar un mayor estudio al ambiente y al funcionamiento de la punta láser.

2.3 Lista de exigencias

En la presente tabla se detallan los requerimientos que deben ser cumplidos al momento de desarrollar el sistema automático para soldadura orbital. Algunos de los corresponden a las siguientes funciones: Función principal, Geometría, Materia, Energía, Señales, Control, Seguridad, Costos, Uso, Mantenimiento, entre otros.

Tabla 2.6

| LISTA DE EXIGENCIAS | |
|--------------------------|---|
| Proyecto | Sistema Automático para Soldadura Orbital para Tuberías de Diámetros de 360 mm hasta 920 mm |
| Curso | Proyecto de Fin de Carrera |
| Deseo o Exigencia | Descripción |
| Función Principal | |
| Exigencia EXG0 | La máquina debe ubicar y posicionarse sobre la junta. Debe realizar un adecuado cordón de soldadura alrededor de una tubería de 360mm hasta 920mm. |
| Geometría | |
| Exigencia EXG1 | La zona de trabajo de la maquina tendrá un diámetro máximo de 1500mm y su longitud lateral máxima de 0.6m (desde la parte delantera de la antorcha hasta la parte posterior). |
| Materia | |
| Exigencia EXG2 | El producto de entrada serán dos tuberías biseladas: chaflán simple o doble Y o K, chaflán simple en V, chaflán simple o doble en U o chaflán escarpado, en con cualquier ángulo y niveladas. Nuestro producto de salida serán las dos tuberías soldadas adecuadamente y el espacio entre el tubo y el suelo debe ser superior a 400mm. |
| Señales | |
| Exigencia EXG3 | La máquina deberá contar con señales visuales de inicio y fin del proceso, así como señal de parada de emergencia y una señal sonora cuando la antorcha se detecte algún obstáculo. |
| Cinemática | |
| Exigencia EXG4 | Se debe controlar la velocidad de desplazamiento de la máquina de soldadura en un rango de 1.0 a 1.68 m/min |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.7

| LISTA DE EXIGENCIAS | |
|----------------------------|--|
| Proyecto | Sistema Automático para Soldadura Orbital para Tuberías de Diámetros de 360 mm hasta 920 mm |
| Curso | Proyecto de Fin de Carrera |
| Deseo o Exigencia | Descripción |
| Electrónica | |
| Exigencia EXG5 | Los circuitos empleados deben tener una protección IP32 del estándar 60529 del IE. |
| Seguridad | |
| Exigencia EXG6 | El diseño de la máquina se realizará velando por la seguridad del operario que hará uso de ella, respetando las directrices de la Directiva Europea 2006/42/CE referente a diseño de máquinas, así como se evitará la presencia de fallos protegiendo a la máquina de cortocircuito o sobrecargas. |
| | El diseño de la máquina seguirá el Reglamento de Seguridad en las Máquinas (198607-005) para el montaje, uso y mantenimiento de la misma. |
| | El cordón de soldadura se realizará siguiendo las diferentes normas nacionales e internacionales como la Norma Técnica Peruana Sistema de tuberías para instalaciones internas residenciales y comerciales NTP 111.011 2014 y Soldadura de Oleoductos e Instalaciones Relacionadas (API 1104) |
| Fabricación | |
| Exigencia EXG7 | Los componentes y materiales a emplear para la fabricación y ensamble de la máquina deberán poder ser adquiridos en el mercado nacional e internacional. |
| Ergonomía | |
| Exigencia EXG8 | Los módulos de cada proceso de la máquina estarán dispuestos de forma eficiente y ordenada en base a la Norma Básica de ergonomía y de procedimiento de evaluación de riesgo Disergonómico. |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.8

| LISTA DE EXIGENCIAS | |
|----------------------------|---|
| Proyecto | Sistema Automático para Soldadura Orbital para Tuberías de Diámetros de 360 mm hasta 920 mm |
| Curso | Proyecto de Fin de Carrera |
| Deseo o Exigencia | Descripción |
| Comunicaciones | |
| Exigencia EXG9 | El sistema de comunicación permitirá implementar múltiples protocolos de comunicación como RS-232 para el intercambio de datos entre dispositivos debido a su simplicidad. |
| | El usuario podrá visualizar los parámetros de soldadura como voltaje en la antorcha, amperaje, altura del electrodo y velocidad de avance por medio de una interfaz gráfica. |
| Montaje | |
| Exigencia EXG10 | El sistema debe ser transportado por un vehículo automático que permite alcanzar la altura de un ducto para el montaje y desmontaje. |
| Uso | |
| Exigencia EXG11 | La máquina podrá usarse en un ambiente abierto tanto en zonas de baja altitud como alta altitud. Además, deberá usarse en zonas libres de contaminación y un clima favorable para realizar el proceso de soldadura. |
| | Se protegerá del viento de la antorcha de soldadura con un casquete y así evitar soldaduras porosas o con agujeros. |
| Mantenimiento | |
| Exigencia EXG12 | El sistema debe ser transportado por un vehículo automático que permite alcanzar la altura de un ducto para el montaje y desmontaje. |

Fuente: Elaboración Propia

III Diseño Conceptual

3.1 Caja Negra (Black Box)

En la Figura 3.1 se aprecian las variables de entrada y salida que estarán involucradas al momento de iniciar el proceso de soldadura. Las variables de entrada están divididas en dos categorías: los parámetros establecidos por el soldador calificado como velocidad de avance, altura de la antorcha, ángulo de inclinación y el tipo de materia, energía y señales que recibirá la máquina.

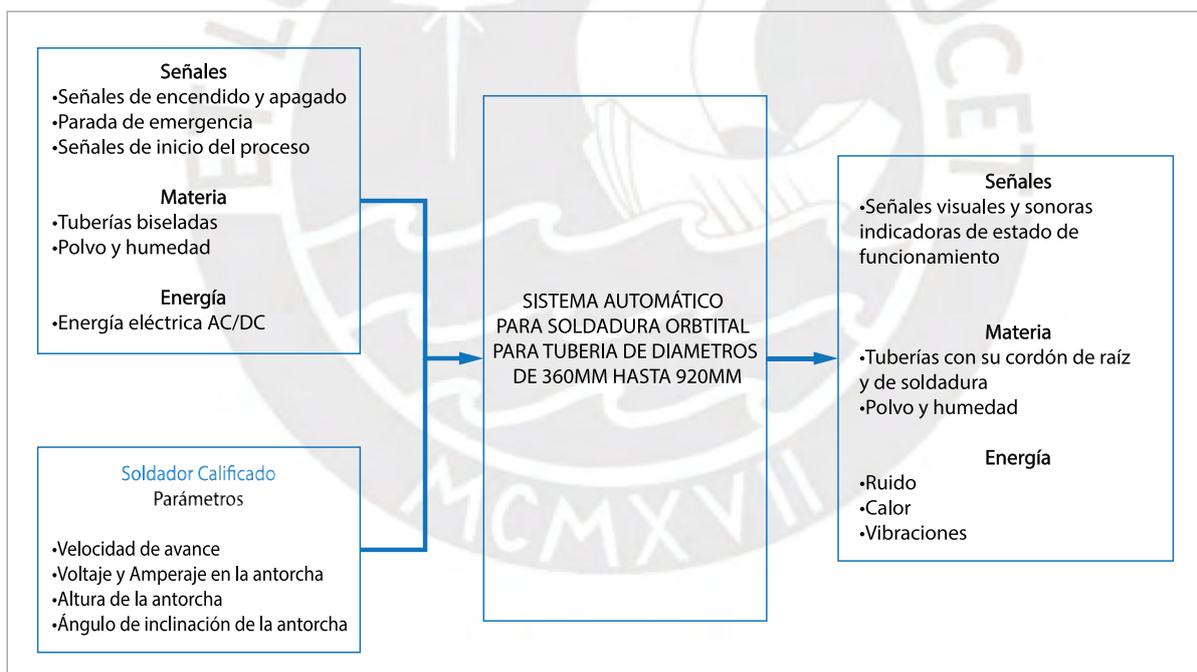


Figura 3.1 – Black Box

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Determinación de a secuencia de operaciones

El diseño de la máquina soldadora cuenta con múltiples dominios. Comienza con el Dominio Mecánico en el cual se encuentran todos los procesos mecánicos a realizar por la máquina automática soldadora iniciando desde anclarse sobre la tubería hasta transportar la antorcha alrededor de la tubería. También, cuenta con el Dominio Electrónico en el cual se encuentran los diferentes procesos de toma de datos hasta la electrónica de potencia para alimentar los actuadores. Por último, cuenta con el Dominio de Control, el cual se encarga de todos los procesos algorítmicos para tomar decisiones respecto a las variables medidas.

3.2.1 Dominio Mecánico

En la siguiente lista se presenta de manera consecutiva cada procedimiento a realizar por el dominio mecánico. La explicación de cada procedimiento se brinda al final de la sección.

1. Ajustar el diámetro de las mordazas
2. Cerrar las mordazas
3. Posicionar la antorcha sobre la junta de soldadura
4. Ajustar el ángulo y la altura de la antorcha sobre la junta de soldadura
5. Trasladar el tractor soldador alrededor de la junta
6. Realizar cordón de soldadura
7. Proteger la antorcha de corrientes de viento

3.2.2 Dominio Electrónico

En la siguiente lista se presenta de manera consecutiva cada procedimiento a realizar por el dominio electrónico. La explicación de cada procedimiento se brinda al final de la sección.

1. Acondicionar energía eléctrica

2. Energizar electrónica de control

- Detectar señales de inicio
- Leer y medir parámetros del sistema de seguimiento
- Energizar módulo de soldadura
- Leer velocidad de avance del tractor soldador
- Medir diámetro de tubería
- Detectar ubicación de la junta de soldadura

3. Energizar electrónica de Potencia

- Energizar sistema de sujeción
- Energizar sistema de diámetro variable
- Energizar dispositivos de transporte de la antorcha de soldadura
- Energizar sistema de rotación de ángulo en la antorcha

3.2.3 Dominio de Control

En la siguiente lista se presenta de manera consecutiva cada procedimiento a realizar por el dominio de control. La explicación de cada procedimiento se brinda al final de la sección.

1. Calcular diámetro de tubería
2. Calcular ubicación y separación inicial
3. Calcular velocidad de soldeo
4. Calcular desviación de la junta de soldadura

3.2.4 Dominio de Procesamiento de Señales e Imágenes

En la siguiente lista se presenta de manera consecutiva cada procedimiento a realizar por el dominio de procesamiento de señales e imágenes. La explicación de cada procedimiento se brinda al final de la sección.

1. Analizar señal o imagen
2. Obtener ubicación de la junta de soldadura
3. Determinar separación entre la junta de soldadura y la antorcha

3.2.5 Explicación de los dominios

En el Dominio Mecánico el proceso comienza cuando la máquina es posicionada en la tubería. Primero se procede a cerrar máquina de soldadura para así poder alinear las tuberías y fijar la máquina, luego se determina el diámetro de la tubería a la cual se le realizará el cordón de soldadura; después se ajusta el diámetro del sistema de sujeción para que encaje en la tubería. Una vez establecido el diámetro. La máquina se encarga de detectar la posición de la junta de soldadura y procede desplazar toda la máquina a una posición cercana a la junta de soldadura.

Una vez posicionado sobre la junta de soldadura, se leen los parámetros de velocidad de avance, altura y ángulo de la antorcha establecidos por el soldador calificado. Después, el sistema de sujeción de la antorcha se posiciona en la ubicación indicada. Por último, la máquina procede a trasladarse alrededor de la tubería mientras a la vez el sistema de seguimiento se encarga de direccionar la antorcha en caso haya alguna desviación en la junta. Por otro lado, se contará con un sistema de bloqueo de vientos ya que estas corrientes de viento pueden afectar la calidad de la soldadura.

El Dominio de Eléctrico – Electrónico comienza con la energización de los sensores y actuadores. El proceso comienza con la llegada de la señal de inicio la cual es transmitida

al controlador. Se cuenta con un bloque de sensado de diámetro de tubería el cual permite accionar los actuadores del sistema de sujeción de tuberías variando su diámetro. Luego, se cuenta con un sistema de ubicación de junta de soldadura para, así, procesar la separación entre el mecanismo de sujeción y accionar los actuadores de desplazamiento hacia una distancia próxima a la junta de soldadura. También, se cuenta con un bloque de medición y lectura de la velocidad de avance la cual es establecida por el operario; esta señal es procesada por el controlador y se envía la señal de control hacia los actuadores para transportar el tractor soldador alrededor de la junta de soldadura. Por otro lado, se cuenta con las señales emitidas por el sistema de seguimiento de soldadura, la cual se encarga de direccionar la antorcha de soldadura alrededor del cordón de soldadura en caso haya alguna desnivelación entre las tuberías o haya alguna desviación causada al trasladar la antorcha.

La parte del Dominio de Control consta con los algoritmos para calcular el diámetro de la tubería a soldar; además calcular la ubicación y separación inicial entre la antorcha de soldadura y la junta de soldadura; esto permite posicionar la antorcha sobre la junta. También, se establece un algoritmo para calcular la velocidad de soldeo lo cual permitirá controlar la velocidad de la antorcha de soldadura. Se integrará un sistema de seguimiento de soldadura en cual permitirá guiar la antorcha de soldadura alrededor del cordón de soldadura en el caso de que haya una desviación.

3.3 Estructura de Funciones

Se analizarán las funciones internas entre los diferentes sistemas, además de su interacción entre las entradas y las salidas. A continuación, se muestra a detalle a estructura y las conexiones entre funciones.

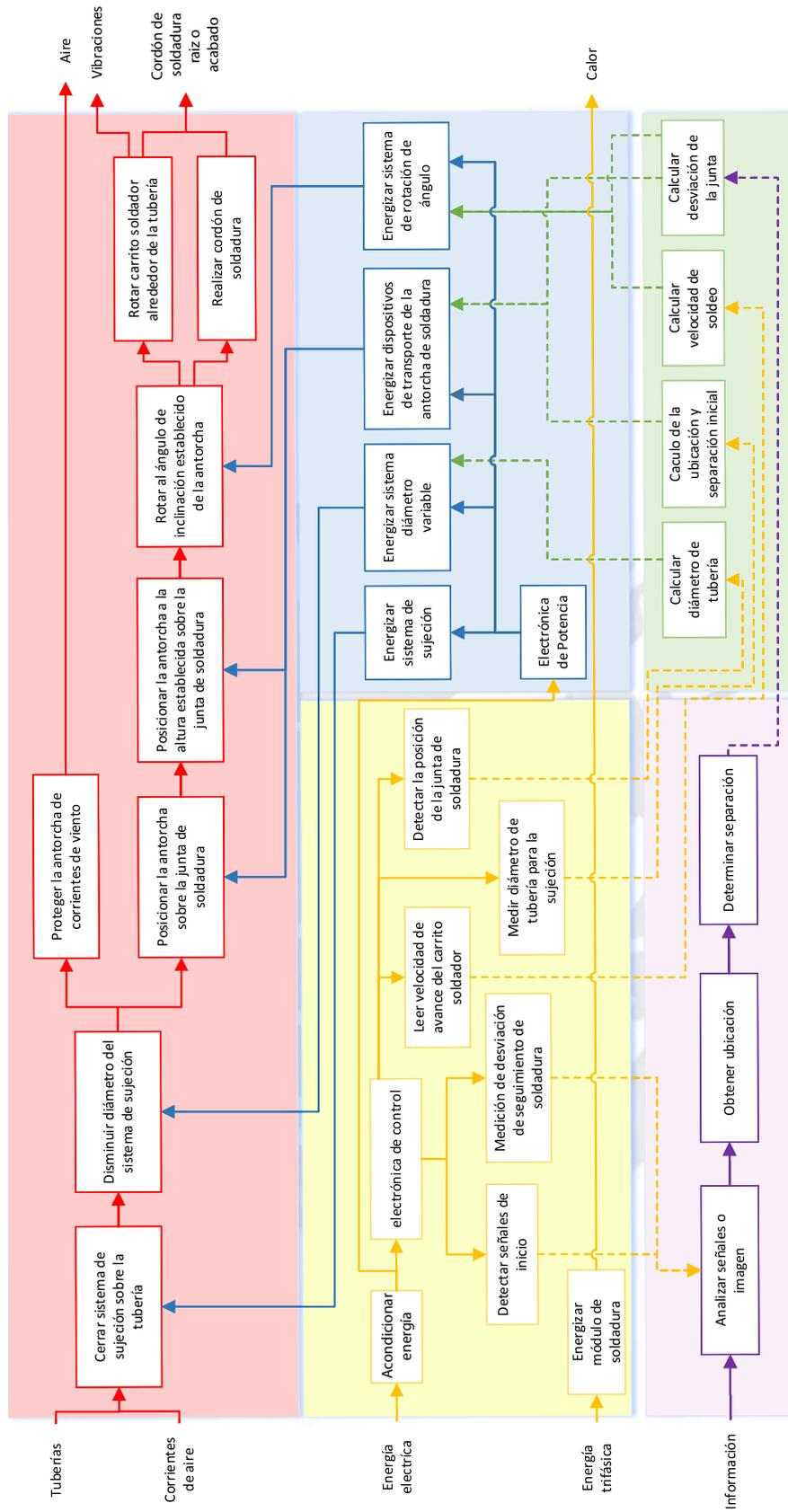


Figura 3.2 – Estructura de Funciones

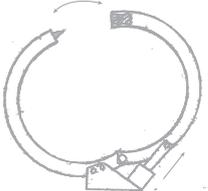
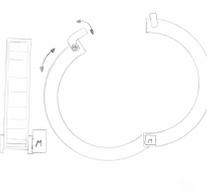
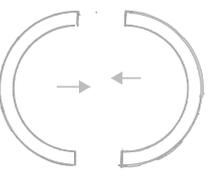
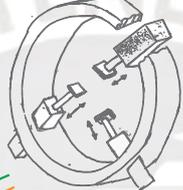
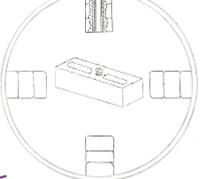
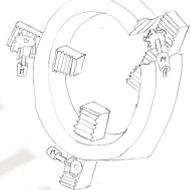
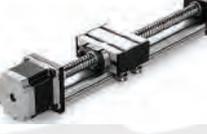
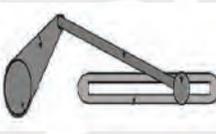
3.4 Matriz Morfológica

Por cada función de la estructura de funciones mostrada anteriormente, se presentan las posibles soluciones en la matriz morfológica. Estas soluciones son extraídas del Estado de Arte estudiado del Capítulo 2. La selección de los diferentes conceptos solución se realiza por medio de uniones con flechas de diferentes colores.

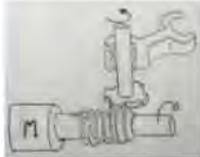
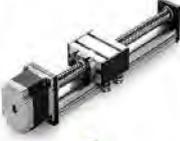
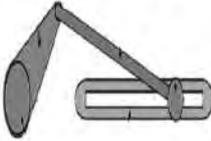


3.4.1 Dominio Mecánico

Tabla 3.1

| Funciones | Solución 1 | Solución 2 | Solución 3 | Solución 4 |
|--|--|--|--|---|
| Cerrar sistema de sujeción sobre la tubería | Mordaza con actuador lineal  | Mordaza con motor  | Mordaza ajuste manual  | |
| Diámetro variable de mordazas | Mordazas industriales  | Mordazas con actuadores  | Soportes diametrales preestablecidas  | Mordaza con piñon cremallera  |
| Proteger antorcha de soldadura del viento | Placas Laterales  | | | |
| Posicionar la antorcha sobre la junta de soldadura | Sistema piñon-cremallera  | Tornillo sin fin  | Biela manivela corredera  | Actuador Lineal  |

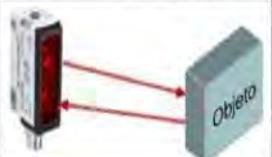
Fuente: Elaboración propia.

| | | | | |
|--|---|---|--|--|
| <p>Ajustar el ángulo de la antorcha de soldadura</p> | <p>Juego de engranajes</p>  | <p>Tornillo sin fin, engranaje motorizado</p>  | <p>Motor DC y unión por ajuste</p>  | <p>Tornillo sin fin, tornillo motorizado</p>  |
| <p>Ajustar la altura de la antorcha de soldadura</p> | <p>Actuador lineal</p>  | <p>Sistema piñón – cremallera</p>  | <p>Tornillo sin fin</p>  | <p>Biela manivela corredera</p>  |
| <p>Rotar el carrito soldador</p> | <p>Cadenas con engranaje motorizado</p>  | <p>Sistema riel – rueda</p>  | <p>Engranaje – piñón circular</p>  | |
| | <p>Solución Mecánica 1</p> | <p>Solución Mecánica 2</p> | <p>Solución Mecánica 3</p> | <p>Solución Mecánica 4</p> |

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Dominio Electrónico

Tabla 3.2

| Funciones | Solución 1 | Solución 2 | Solución3 |
|--|--|--|---|
| Detectar señales de inicio | Control inalámbrico  | Caja botonera  | Panel HMI  |
| Detectar la posición de la junta de soldadura | Cámara visión por computadora  | Sensor infrarrojo  | |
| Medir diámetro de tubería | Sensor ultrasónico  | Sensor fotoeléctrico reflectivo  | Inserción manual  |
| Leer velocidad de avance del carrito soldador | Encoder  | Sensor ultrasónico  | Sensor efecto Hall  |
| Medición de desviación de seguimiento de soldadura | Sensor híbrido laser  | Sensor táctil  | |
| Analizar imágenes | Computadora  | | |
| Controlador | Raspberry  | Microcontrolador  | PLCduino  |
| | Solución Electrónica 1 | Solución electrónica 2 | |

3.4.3 Dominio Eléctrico

Tabla 3.3

| Funciones | Solución 1 | Solución 2 | Solución 3 |
|---|--|---|---|
| Fuente de alimentación | Fuente Lineal Variabe  | Fuente Switching (conmutada)  | |
| Accionar Sistema de Sujeción | Motor DC con PWM  | Pistón eléctrico  | Operador manual  |
| Accionar sistema de diametro variabe | Motor DC con PWM  | Pistón eléctrico  | |
| Accionar dispositivos de transporte de la antorcha de soldadura | Servo Motor  | Steppers Motors  | Motor DC con PWM  |
| Accionar rotación de la antorcha | Servo Motor  | Steppers Motors  | Motor DC con PWM  |
| | Solución Eléctrica 1 | Solución Eléctrica 2 | |

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Concepto Solución Eléctrico

A continuación, se detallan los componentes del dominio eléctrico seleccionado. Los diferentes sistemas mecánicos serán accionados por estos componentes los cuales son motor DC, motores a pasos y actuadores lineales eléctricos. Además, dichos componentes serán energizados por medio de una fuente switching.

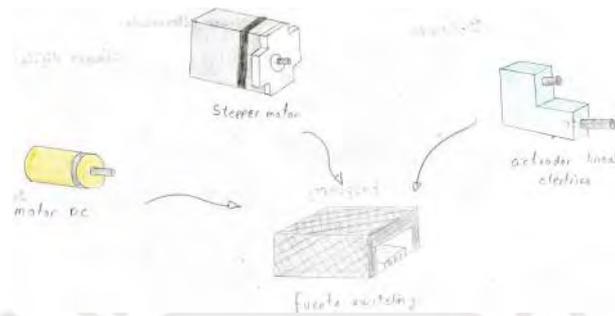
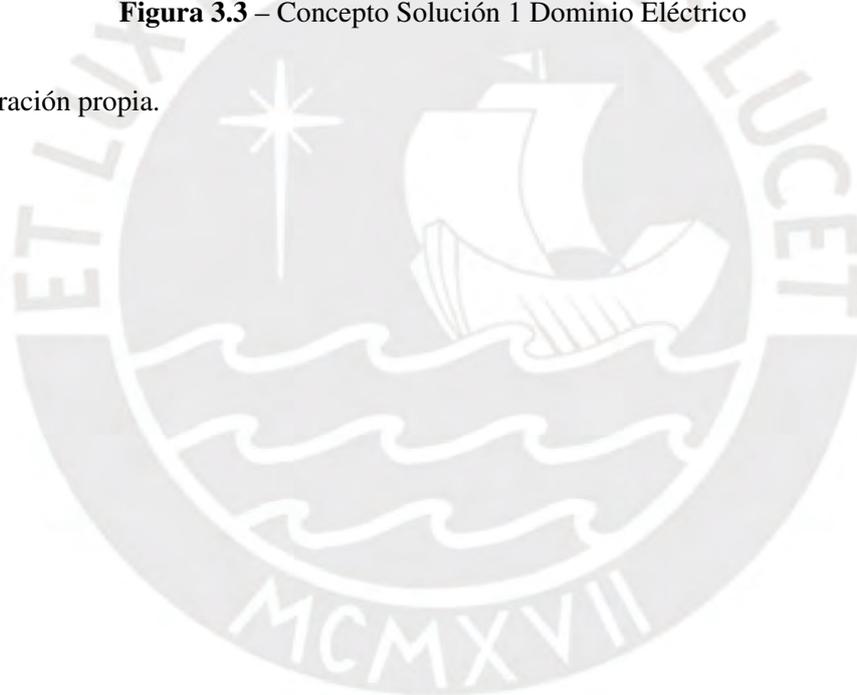


Figura 3.3 – Concepto Solución 1 Dominio Eléctrico

Fuente: Elaboración propia.



3.6 Concepto Solución Electrónico

3.6.1 Concepto Solución 1

Para el diseño de los componentes electrónicos a utilizar son los siguientes: un cámara digital para detectar la junta de soldadura; también, un encoder para determinar la velocidad de avance del tractor soldador; además, un sensor ultrasonido para determinar el diámetro de las tuberías a soldar; por último, un seguidor de soldadura para corregir la desviación de la antorcha de soldadura, raspberry y una computadora.

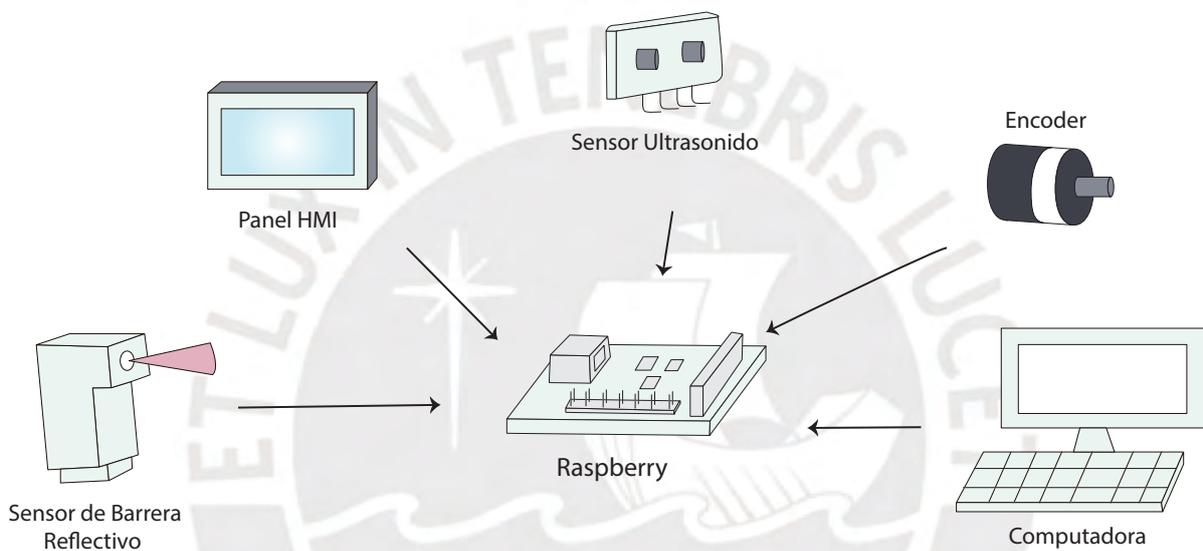


Figura 3.4 – Concepto Solución 1 Dominio Electrónico

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2 Concepto Solución 2

Para la solución 2 se detallan los siguientes componentes: se utilizará un microcontrolador para el control de los diferentes sensores; además, se utilizará un encoder para determinar la velocidad del tractor soldador; también, se utilizará un sensor infrarrojo para determinar la posición de la junta de soldadura; por otro lado, se utilizará una cámara digital para determi-

nar el diámetro de las tuberías a unir; por último, se utilizara un seguidor de soldadura para la corrección de la antorcha de soldadura y una computadora.

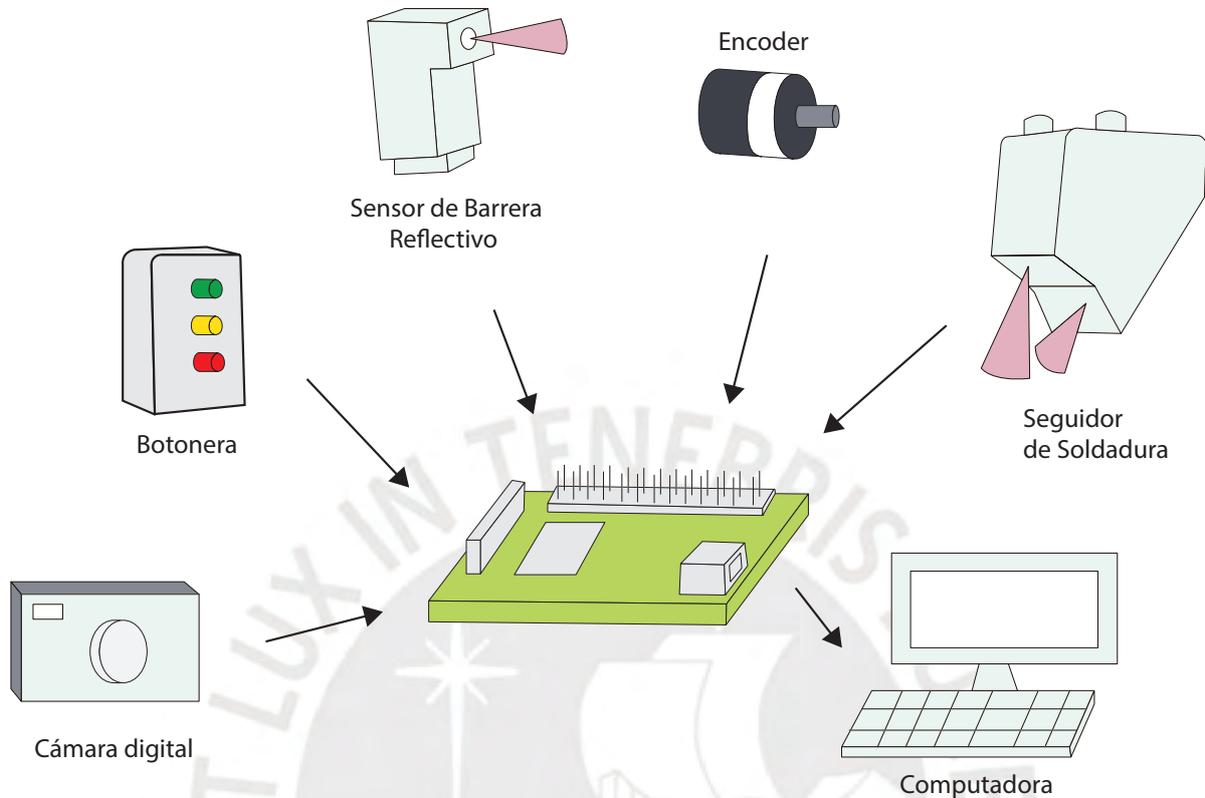


Figura 3.5 – Concepto Solución 2 Dominio Electrónico

Fuente: Elaboración propia.

3.7 Concepto Solución Mecánico

3.7.1 Concepto Solución 1

Para el diseño del tractor soldador el sistema de rotación sobre la tubería es por medio de un mecanismo piñón/cremallera; luego, para trasladar la antorcha de soldadura sobre el cordón de soldadura se logra por medio de un tornillo sin fin accionado por un motor eléctrico; después, para posicionar la antorcha a la altura deseada por el soldador calificado se logra por medio de un mecanismos piñón cremallera; por último, para girar la antorcha de soldadura el

ángulo deseado por el soldador calificado se diseñará una unión por ajuste impulsado por un motor eléctrico.

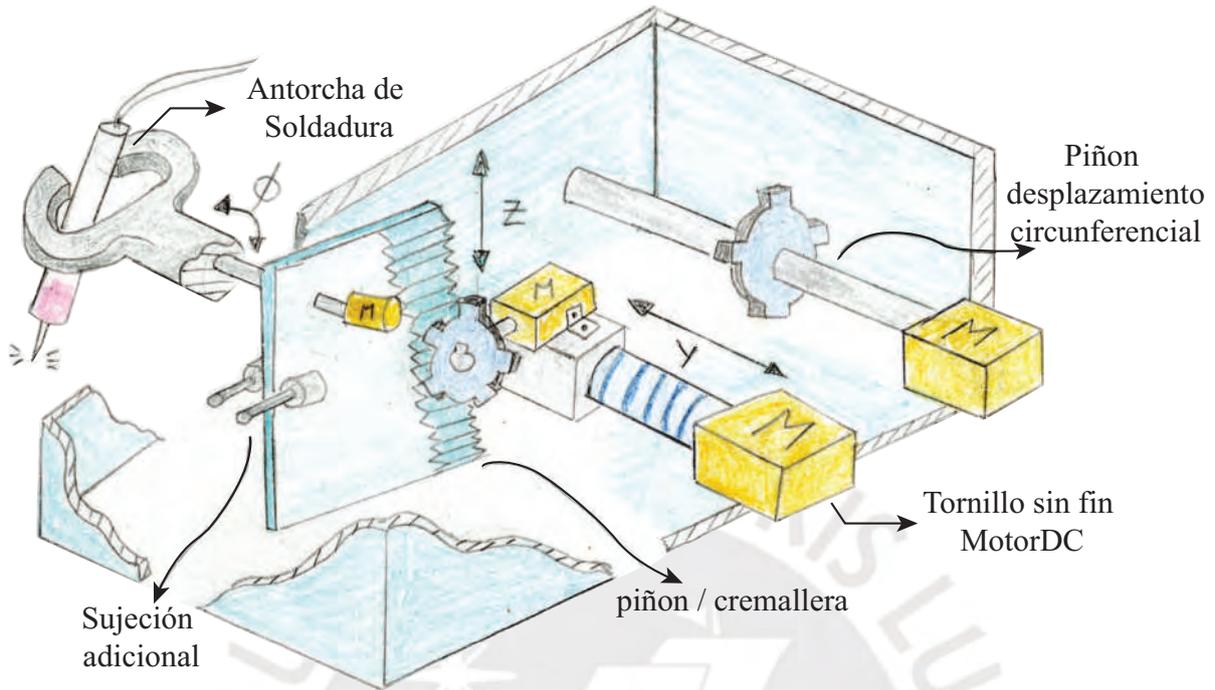


Figura 3.6 – Concepto Solución 1 tractor Soldador

Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño del sistema de sujeción se seleccionó una mordaza articulada con un motor eléctrico; esta mordaza se sujeta por medio de broches en los extremos; además, esta mordaza cuenta con una cremallera por la cual se traslada el tractor soldador. Por último, para la sujeción de tuberías de diámetro variable se utilizarán actuadores lineales.

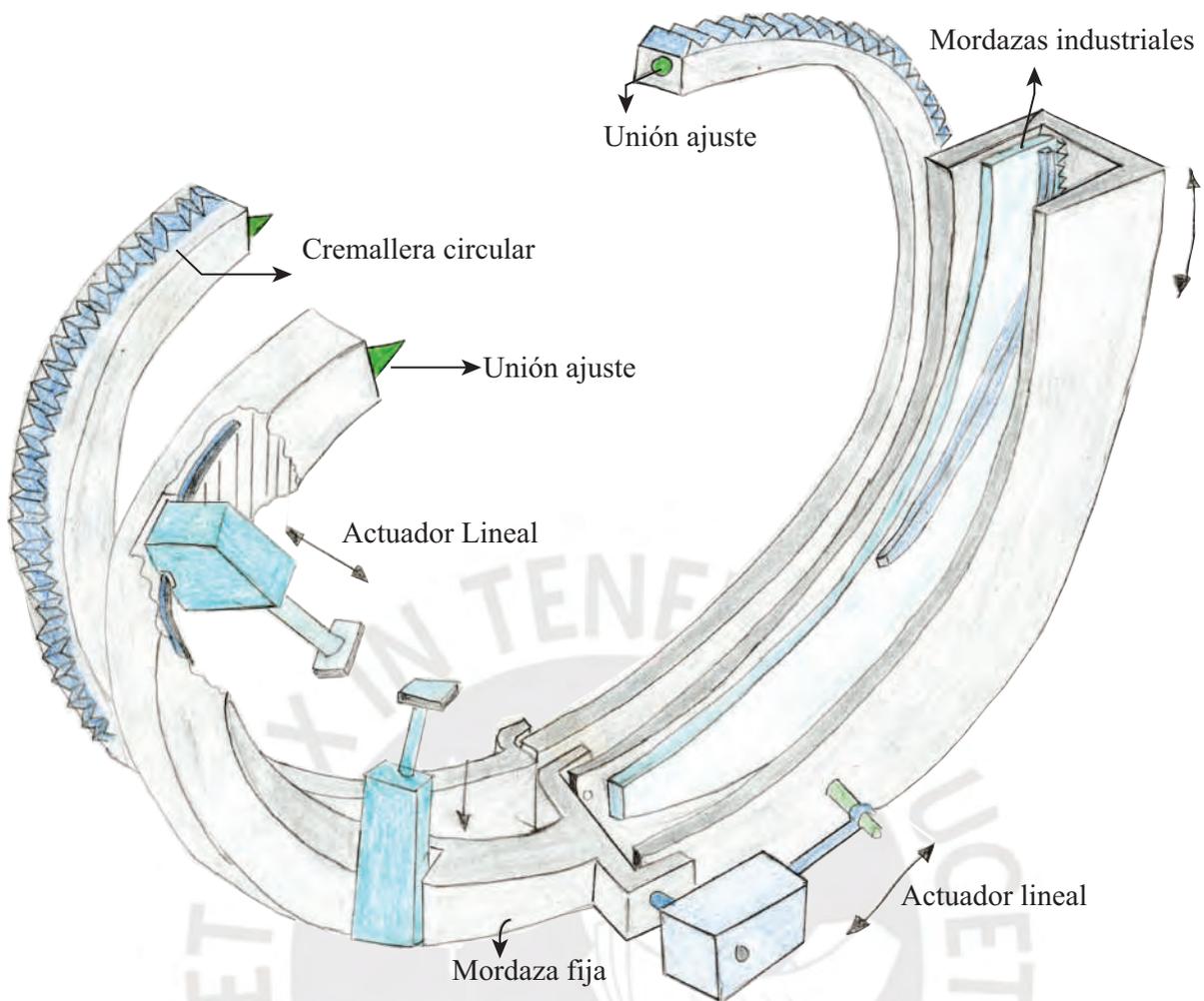


Figura 3.7 – Concepto Concepto Solución 1 Sistema de Sujeción

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2 Concepto Solución 2

Para el diseño del tractor soldador el sistema de rotación se realiza por medio de un mecanismo piñón cremallera, el cual es accionado por medio de un motor eléctrico; luego para trasladar la antorcha de soldadura sobre el cordón de soldadura se logra por un mecanismo piñón/cremallera; después, para posicionar la antorcha a la altura deseada por el soldador calificado se logra por medio de un mecanismo piñón cremallera montado sobre el primero;

ra finalizar cerrándose por medio de una unión de ajuste; para liberar las mordazas solo es necesario accionar el actuador lineal en sentido contrario; además, esta mordaza cuenta con un sistema de riel por la cual se traslada el tractor soldador. Por último, para la sujeción de tuberías de diámetro variable se utilizará un mecanismo idéntico al utilizado por las mordazas industriales.

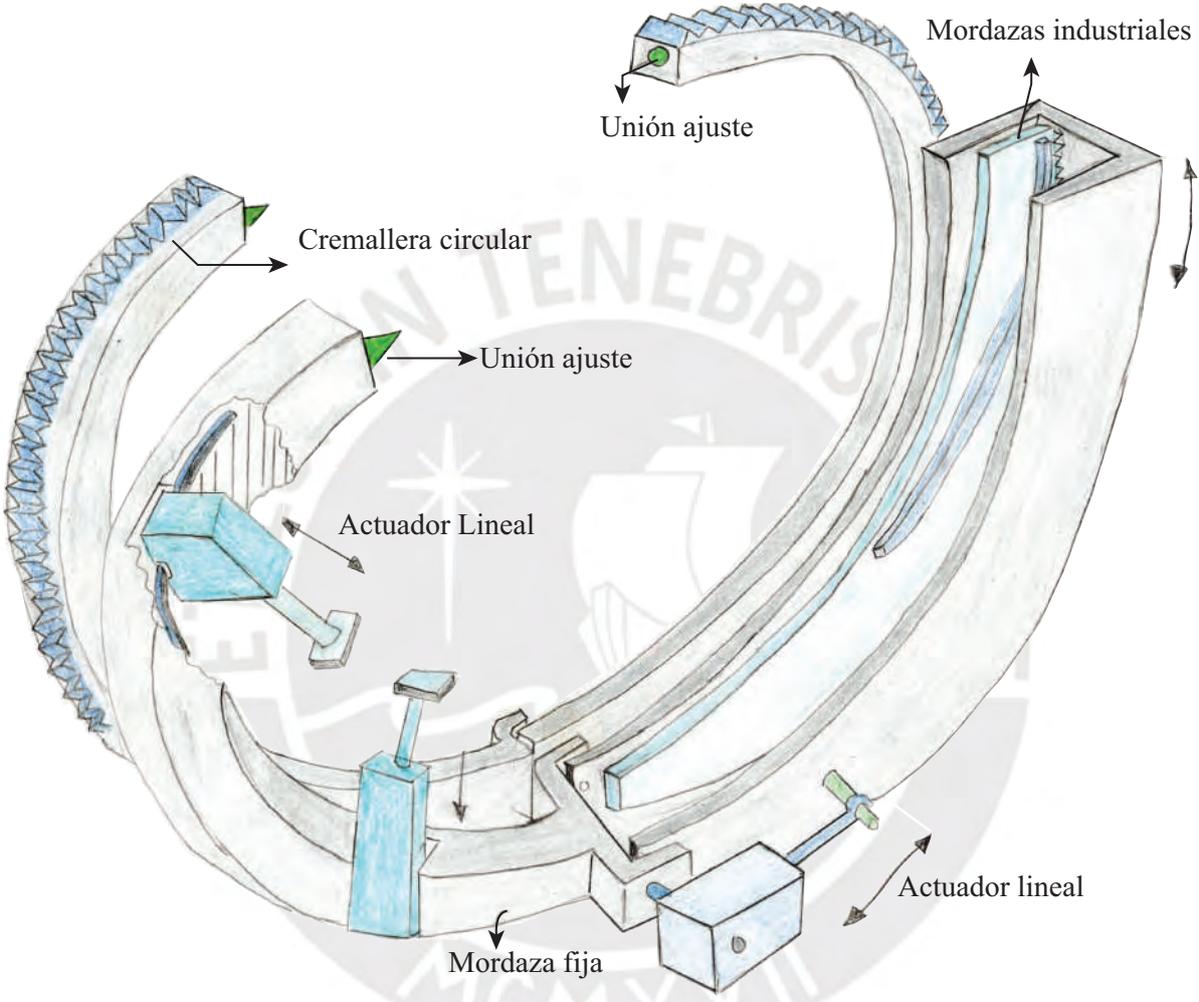


Figura 3.9 – Concepto Solución 2 Sistema de Sujeción

Fuente: Elaboración propia.

3.7.3 Concepto Solución 3

El sistema del tractor soldador se puede apreciar en la Figura 3.10. Para el desplazamiento en el eje Y se utiliza un mecanismo de tornillo sin fin, en el cual se montan placas metálicas para poder posicionar otro tornillo sin fin. Este último permite el desplazamiento en el eje Z. Además, para realizar el ajuste de ángulo de la antorcha de soldadura se utiliza un sistema de engranajes con un motor DC. Por otro lado, se aprecian las ruedas verticales, las cuales juntos al riel permiten el desplazamiento circunferencial alrededor de la tubería. Por último, se establece un espacio extra para añadir el dispensador de electrodo y royo de electrodo.

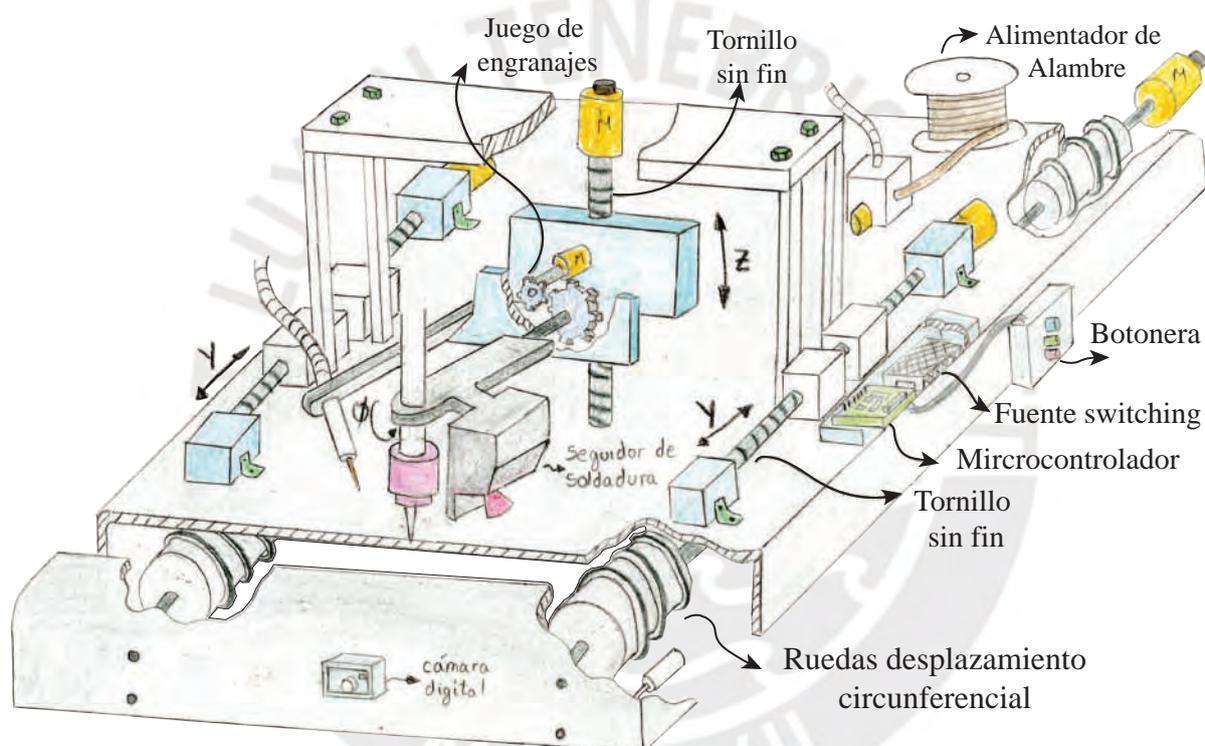


Figura 3.10 – Concepto Solución 3 Tractor Soldador

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el diseño del sistema de sujeción se aprecia en la Figura 35. Cuenta con un sistema de riel con ruedas verticales para su desplazamiento circunferencial; además, para

el ajuste del diámetro variable se utilizan actuadores lineales de manera concéntrica. Por otro lado, para cerrar las mordazas se utiliza un motor eléctrico el cual permitirá rotar una de los brazos de las mordazas mientras la otra se queda fija. Por último, el sistema cuenta con broches de sujeción en la parte superior accionados por motores eléctricos para permitir unir ambos brazos de la mordaza evitando desplazamientos.



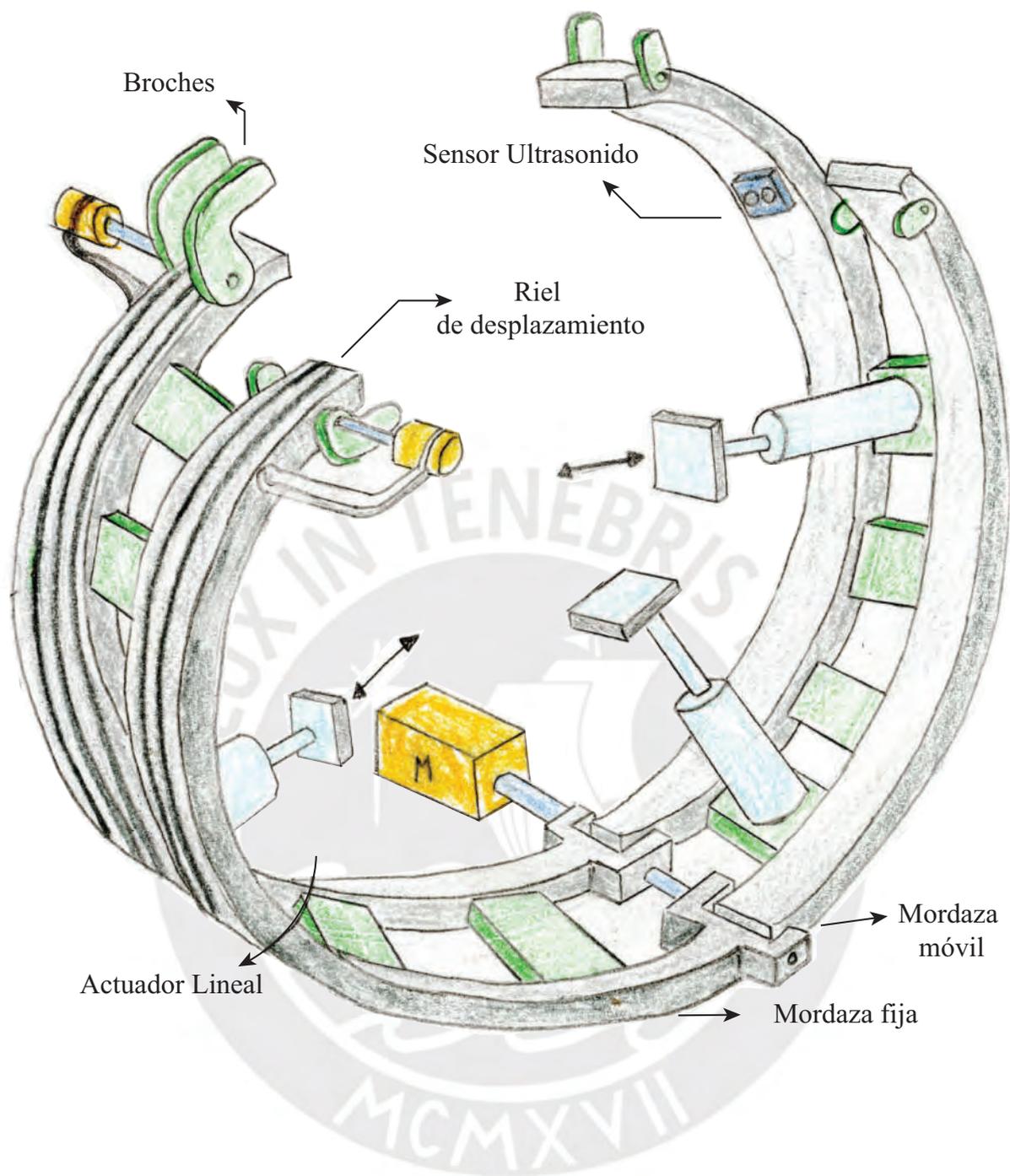


Figura 3.11 – Concepto Solución 3 Sistema de Sujeción

Fuente: Elaboración propia.

3.7.4 Concepto Solución 4

El sistema del tractor soldador se puede apreciar en la Figura 3.12. Para el desplazamiento en el eje Y se utiliza un sistema de piñón cremallera sobre la cual se monta otro sistema de piñón cremallera permitiendo el desplazamiento en el eje Z. Además, sobre este último se monta un juego de engranajes el cual permite el desplazamiento rotacional y ajustar el ángulo de la antorcha de soldadura. Por otro lado, se aprecian en la parte inferior en juego de engranajes los cuales junto a la cadena permiten el desplazamiento circunferencial alrededor de la tubería. Por último, se adiciona un espacio para el alimentador de alambre de soldadura.



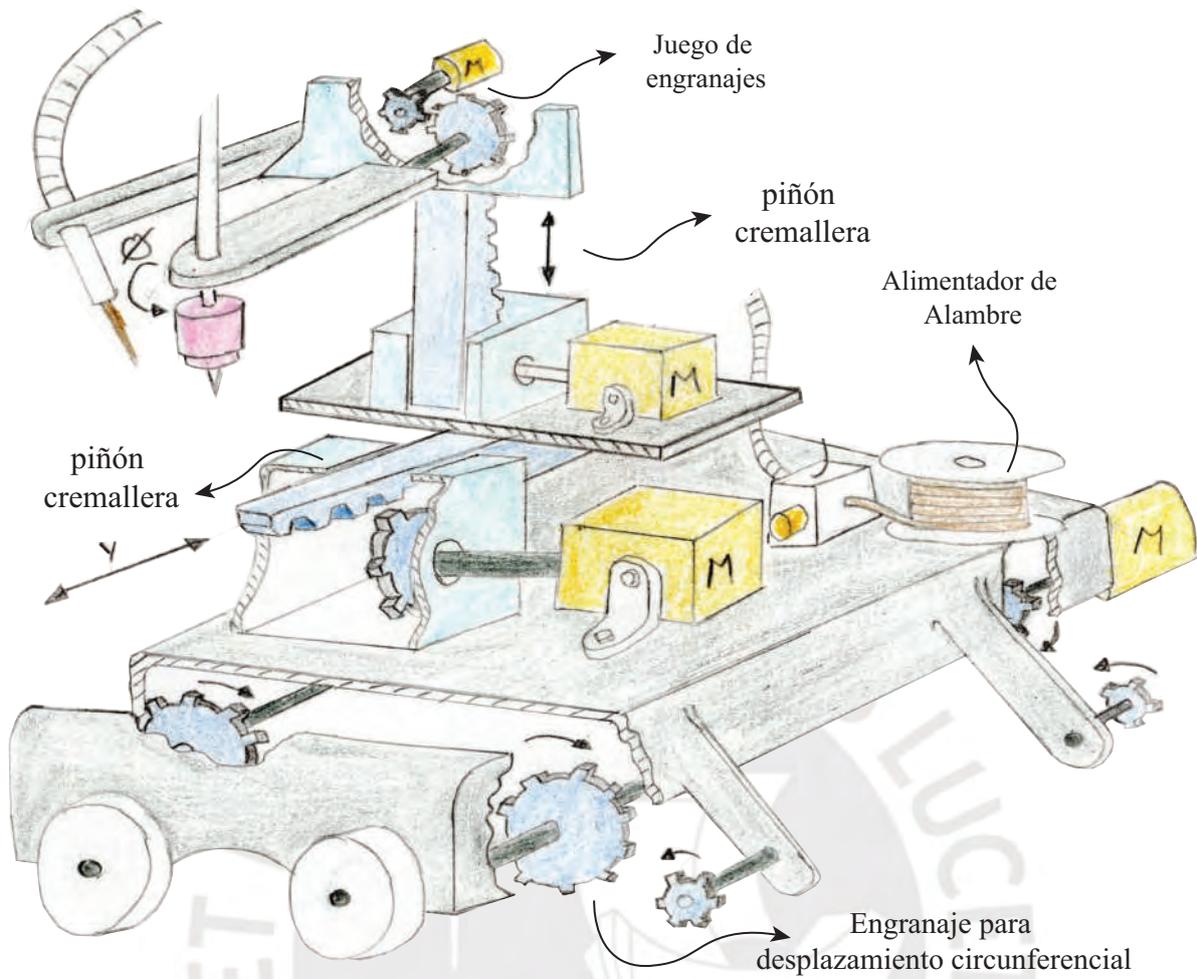


Figura 3.12 – Concepto Solución 4 tractor Soldador Vista Isométrica

Fuente: Elaboración propia.

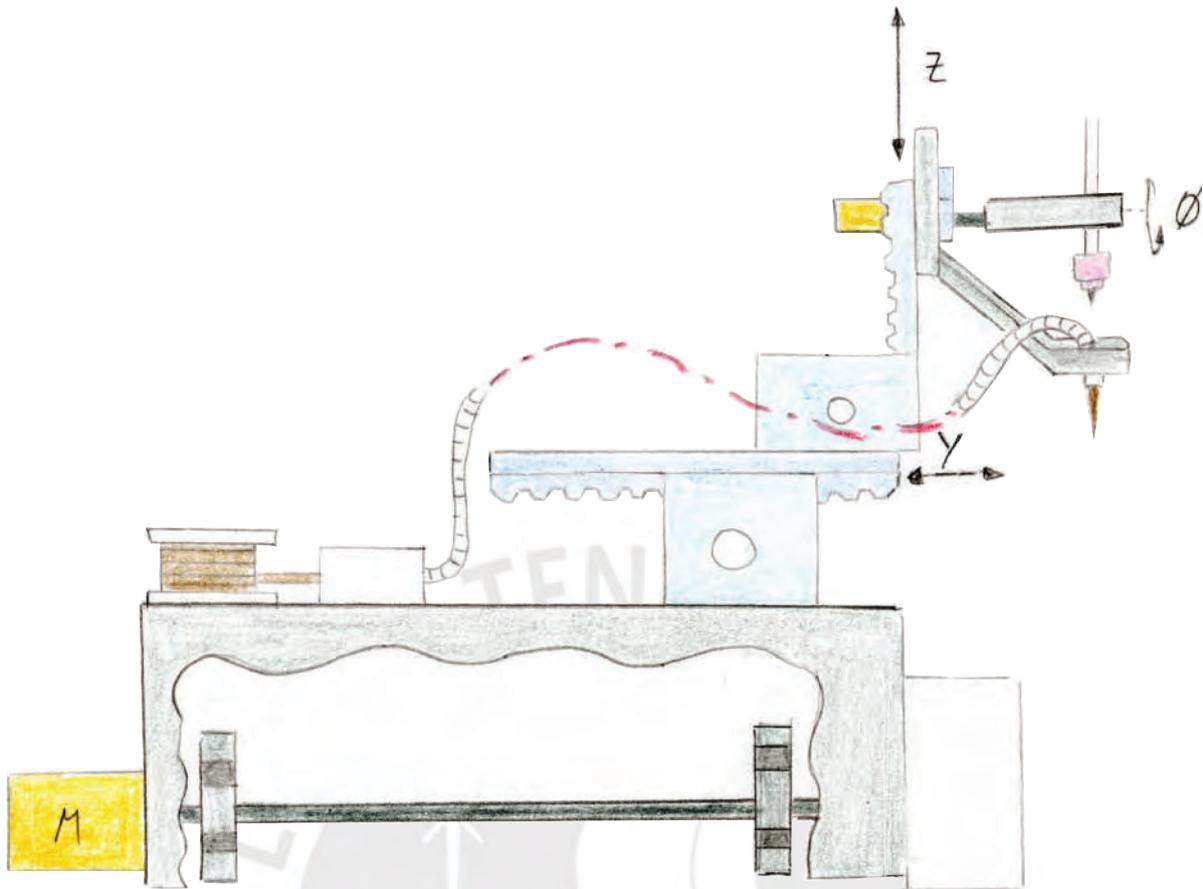


Figura 3.13 – Concepto Solución 4 tractor Soldador Vista de Perfil

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el diseño del sistema de sujeción se aprecia en la Figura 3.14. Cuenta con un sistema de cadena engranaje para el desplazamiento circunferencial; este sistema consiste en mantener la cadena fija alrededor de la tubería mientras los engranajes motorizados permiten el desplazamiento alrededor de la tubería. Al implementar este sistema es necesario la intervención de un operario para unir y separar los eslabones. Además, el sistema cuenta con un conjunto de actuadores lineales los cuales permiten ajustarse al diámetro de la tubería; Además, se utiliza un sistema de mordazas con un motor DC el cual permite rotar uno de los brazos de las mordazas y acoplarla con el brazo fijo de la mordaza. Por último, el sistema

cuenta con broches de sujeción a los extremos con motores eléctricos para permitir unir ambos brazos de la mordaza evitando desplazamiento.

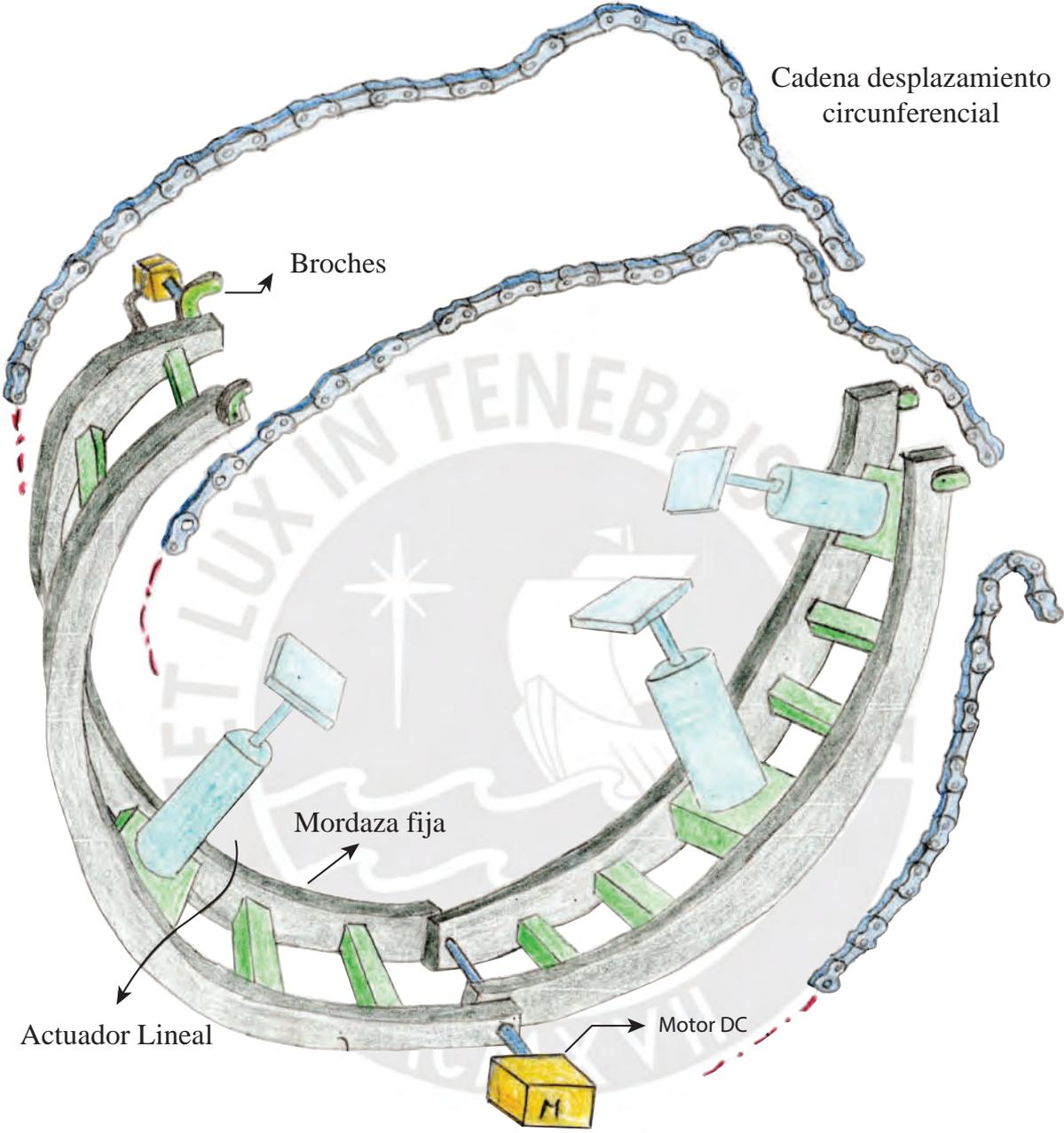
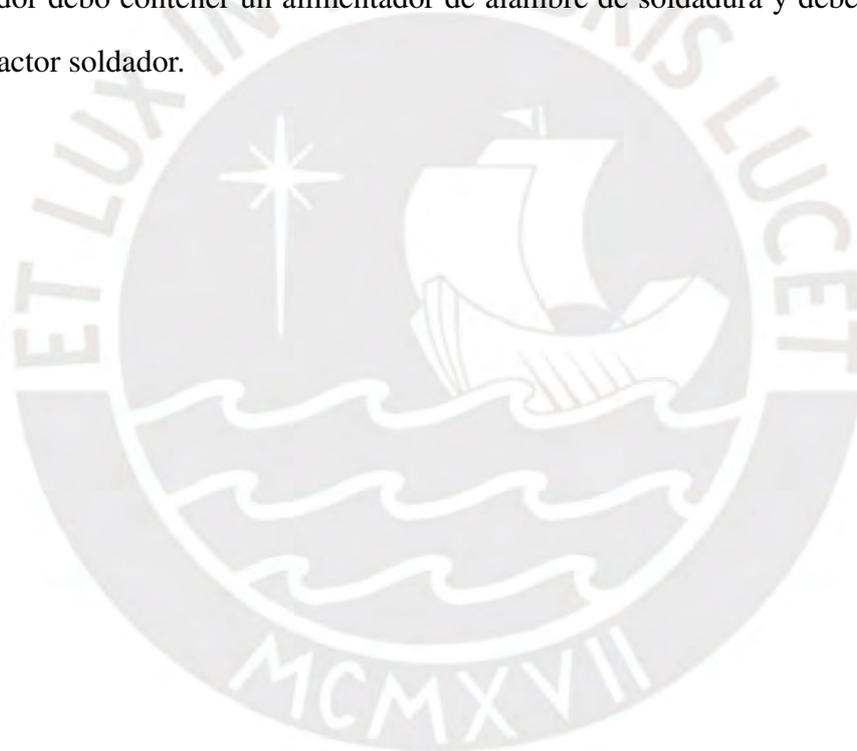


Figura 3.14 – Concepto Solución 4 Sistema de Sujeción

Fuente: Elaboración propia.

3.7.5 Concepto Solución 5

El tractor soldador, Figura 3.15, está constituido por un piñón en la parte inferior accionado por un motor (color amarillo) lo cual le permite desplazarse alrededor del sistema del sistema de sujeción; junto a este, para sujetar el tractor soldador a la guía es necesario adicionar sujeciones adicionales a los laterales para así mantener el equilibrio en el tractor. Para desplazar la antorcha de soldadura sobre la junta de soldadura (eje Y) se utiliza un conjunto de tornillo sin-fin. También, es necesario establecer la altura (eje Z) de la antorcha de soldadura; por lo tanto, se utilizará, también, un conjunto de tornillo sin-fin. Además, para establecer el ángulo de la antorcha de soldadura se utiliza un conjunto de engranajes (Rotación ϕ). El tractor soldador debe contener un alimentador de alambre de soldadura y debe ir sujeto a al cuerpo del tractor soldador.



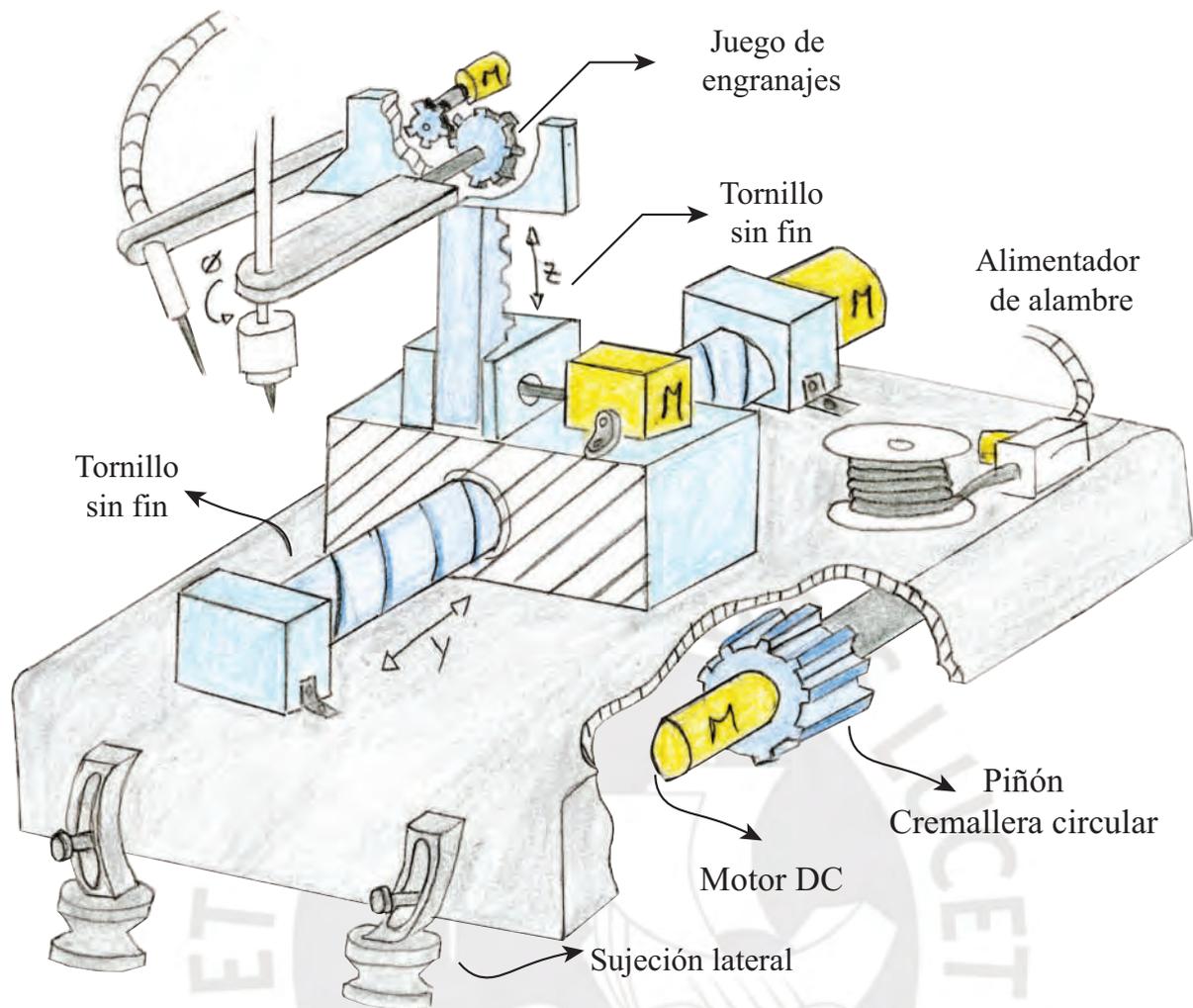


Figura 3.15 – Concepto Solución 5 Tractor Soldador

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de sujeción, Figura 3.16, cuenta con una cremallera circular en la parte central del sistema, la cual junto al piñón del tractor soldador permiten el desplazamiento circunferencial al rededor de la tubería. Además, el sistema de sujeción con sus anillos laterales permite posicionar la sujeción lateral del tractor soldador para mantener la estabilidad en este último. Por otro lado, para aumentar o disminuir los se utilizará un conjunto de Bloques adicionales que se pueden montar y desmontar sobre el sistema de sujeción; estos son ajustados por medio

de tornillos. Por último, para cerrar el sistema de soldadura se utiliza un Motor DC que hace palanca en uno extremo del sistema de sujeción; a esto se le suma el broche en la parte de unión, la cual es accionado por un motor y por medio de ajuste entrelaza ambas mitades del sistema de sujeción.



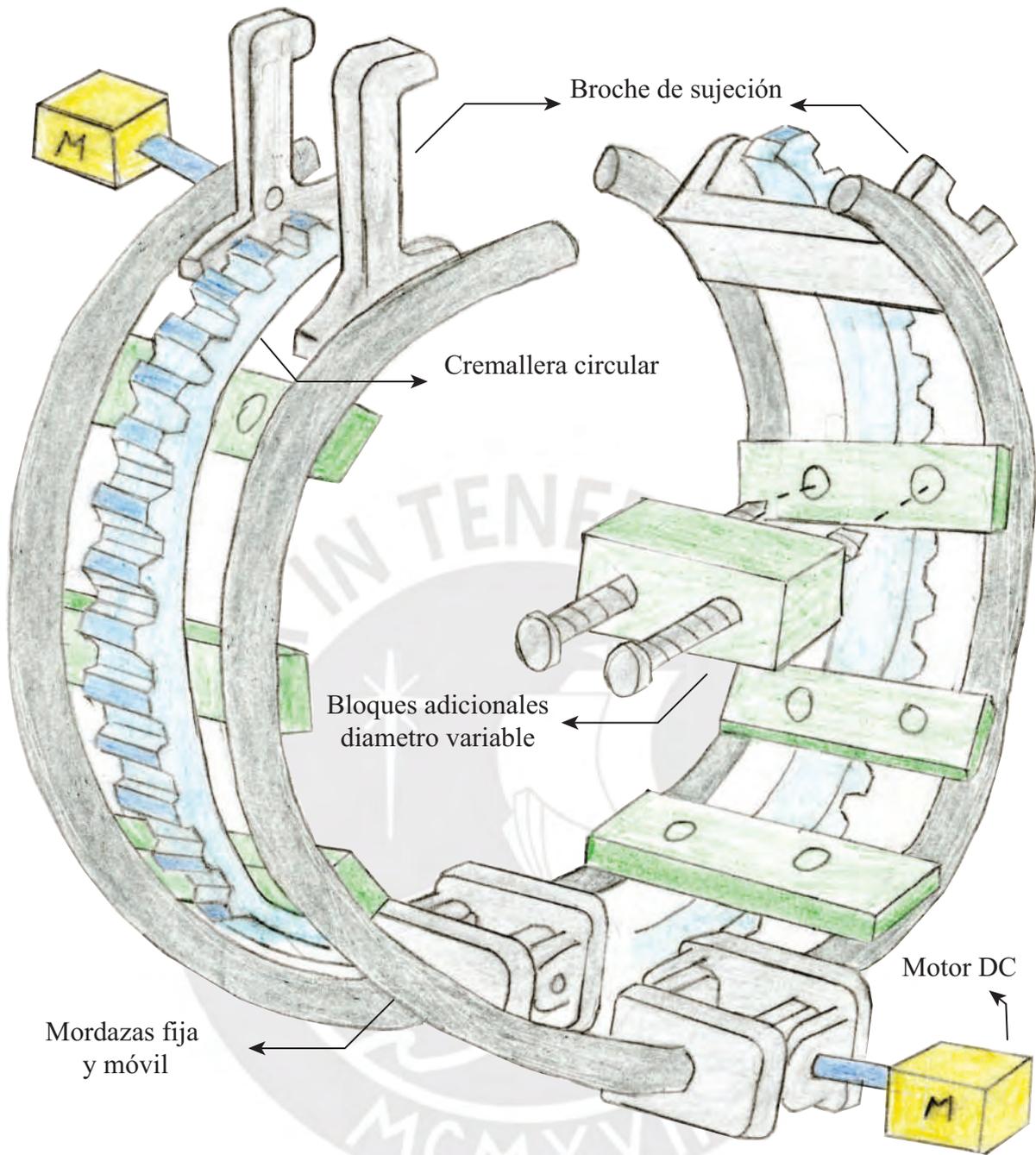


Figura 3.16 – Concepto Solución 5 Sistema de Sujeción

Fuente: Elaboración propia.

3.8 Evaluación Técnico Económica

A continuación, se presenta la tabla de evolución técnico económica en la cual se analizan los 5 conceptos de solución mostrados anteriormente. El puntaje se asigna de 1 al 4 siendo este último el puntaje máximo; además, a cada puntaje asignado se le multiplica el peso asignado por el diseñador evaluando la relevancia de cada criterio. Al finalizar, se suman los valores obtenidos y se saca el promedio respecto a la solución ideal. Como se puede apreciar la Solución 5 es la que mejor aspecto técnico presenta; de igual manera, el mejor aspecto económico.

Tabla 3.4 – Evaluación Técnico Económica

| TECNICOS | | | Solución 1 | | Solución 2 | | Solución 3 | | Solución 4 | | Solución 5 | | Ideal | |
|------------|-------------------------|---|------------|-----|------------|-----|------------|-----|------------|-----|------------|-----|-------|------|
| Nro | Criterio | G | P | PxG | P | PxG |
| 1 | Uso de energía | 2 | 3 | 6 | 2 | 4 | 2 | 4 | 3 | 6 | 3 | 6 | 4 | 8 |
| 2 | Seguridac | 2 | 3 | 6 | 2 | 4 | 3 | 6 | 2 | 4 | 3 | 6 | 4 | 8 |
| 3 | Autonomía | 3 | 2 | 6 | 3 | 9 | 3 | 9 | 2 | 6 | 2 | 6 | 4 | 12 |
| 4 | Confiabilidac | 4 | 3 | 12 | 3 | 12 | 3 | 12 | 2 | 8 | 3 | 12 | 4 | 16 |
| 5 | Facilidad de maneje | 3 | 3 | 9 | 3 | 9 | 3 | 9 | 2 | 6 | 3 | 9 | 4 | 12 |
| 6 | Transportabilidac | 3 | 2 | 6 | 2 | 6 | 2 | 6 | 2 | 6 | 3 | 9 | 4 | 12 |
| 7 | Complejidad de diseña | 4 | 2 | 8 | 2 | 8 | 2 | 8 | 1 | 4 | 3 | 12 | 4 | 16 |
| 8 | Lista de exigencia: | 4 | 3 | 12 | 3 | 12 | 3 | 12 | 3 | 12 | 3 | 12 | 4 | 16 |
| 9 | Uso | 3 | 3 | 9 | 3 | 9 | 3 | 9 | 2 | 6 | 3 | 9 | 4 | 12 |
| SUMATORIA | | | 24 | 74 | 23 | 64 | 24 | 75 | 19 | 58 | 26 | 81 | 36 | 112 |
| PROMEDIO | | | 67% | 66% | 64% | 57% | 67% | 67% | 53% | 52% | 72% | 72% | 100% | 100% |
| ECONÓMICOS | | | Solución 1 | | Solución 2 | | Solución 3 | | Solución 4 | | Solución 5 | | Ideal | |
| Nro | Criterio | G | P | PxG | P | PxG |
| 1 | Número de piezas: | 4 | 2 | 8 | 1 | 4 | 2 | 8 | 1 | 4 | 3 | 12 | 4 | 16 |
| 2 | Facilidad de adquisició | 2 | 2 | 4 | 2 | 4 | 3 | 6 | 2 | 4 | 3 | 6 | 4 | 8 |
| 3 | Costo de pieza: | 4 | 3 | 12 | 2 | 8 | 2 | 8 | 2 | 8 | 3 | 12 | 4 | 16 |
| SUMATORIA | | | 7 | 24 | 5 | 16 | 7 | 22 | 5 | 16 | 9 | 30 | 12 | 40 |
| PROMEDIO | | | 58% | 60% | 42% | 40% | 58% | 55% | 42% | 40% | 75% | 75% | 100% | 100% |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5 – Leyenda

| Leyenda | |
|-----------------|-----|
| PESO | G |
| PUNTUACIÓN | P |
| PUNTUACIÓN REAL | PxG |

Fuente: Elaboración propia.

Para seleccionar la mejor Solución se busca en el Diagrama de Dispersión mostrado a continuación la solución que se encuentre más cerca a la línea central, esto indica que la solución tiene un balance entre lo técnico y económico.

Como se puede observar en la gráfica la Solución 5 es la que más sobresale respecto a las demás soluciones; se encuentra en el punto medio indicando un balance entre los aspectos técnicos y los aspectos económicos. Por lo tanto, esta Solución es el diseño que se utilizará en la presente tesis.

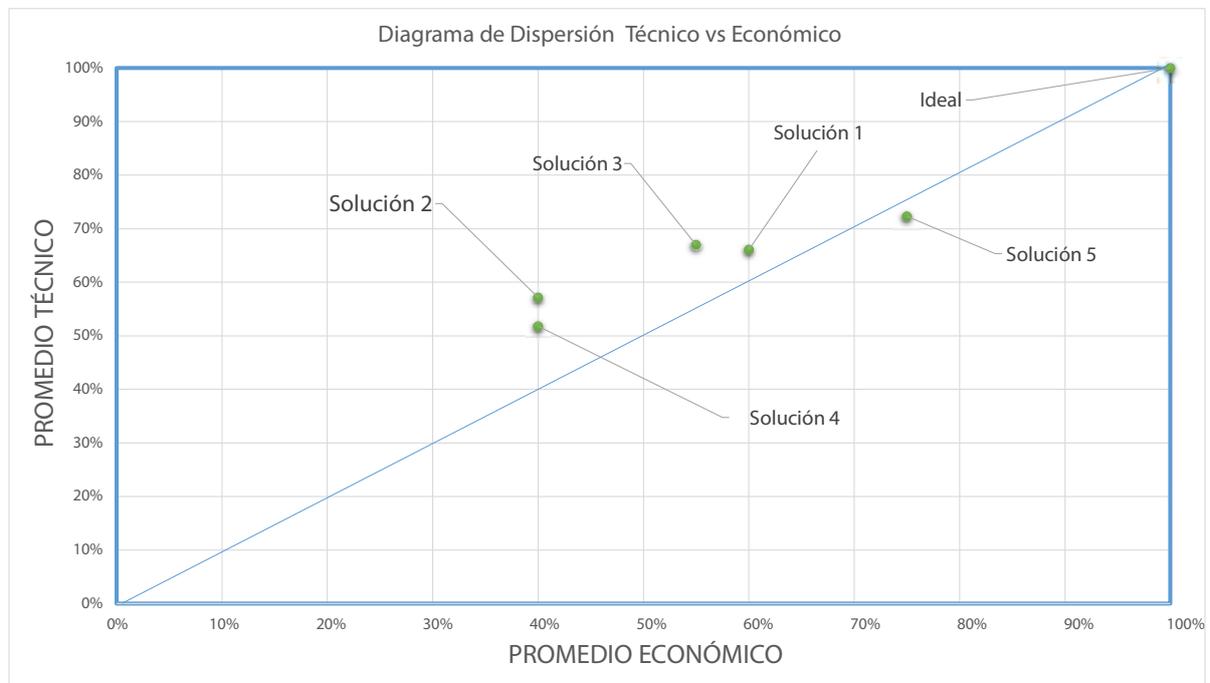


Figura 3.17 – Diagrama de dispersión Técnico vs Económico

Fuente: Elaboración propia.

3.9 Diagrama de Operaciones

A continuación, se muestra en la Figura 3.18 el diagrama de operaciones, en el cual se detallan los múltiples procesos a realizar por la máquina, los productos de entrada y las operaciones realizadas por el operario antes de que la máquina comience a realizar el cordón de soldadura y después de terminado el cordón de soldadura.

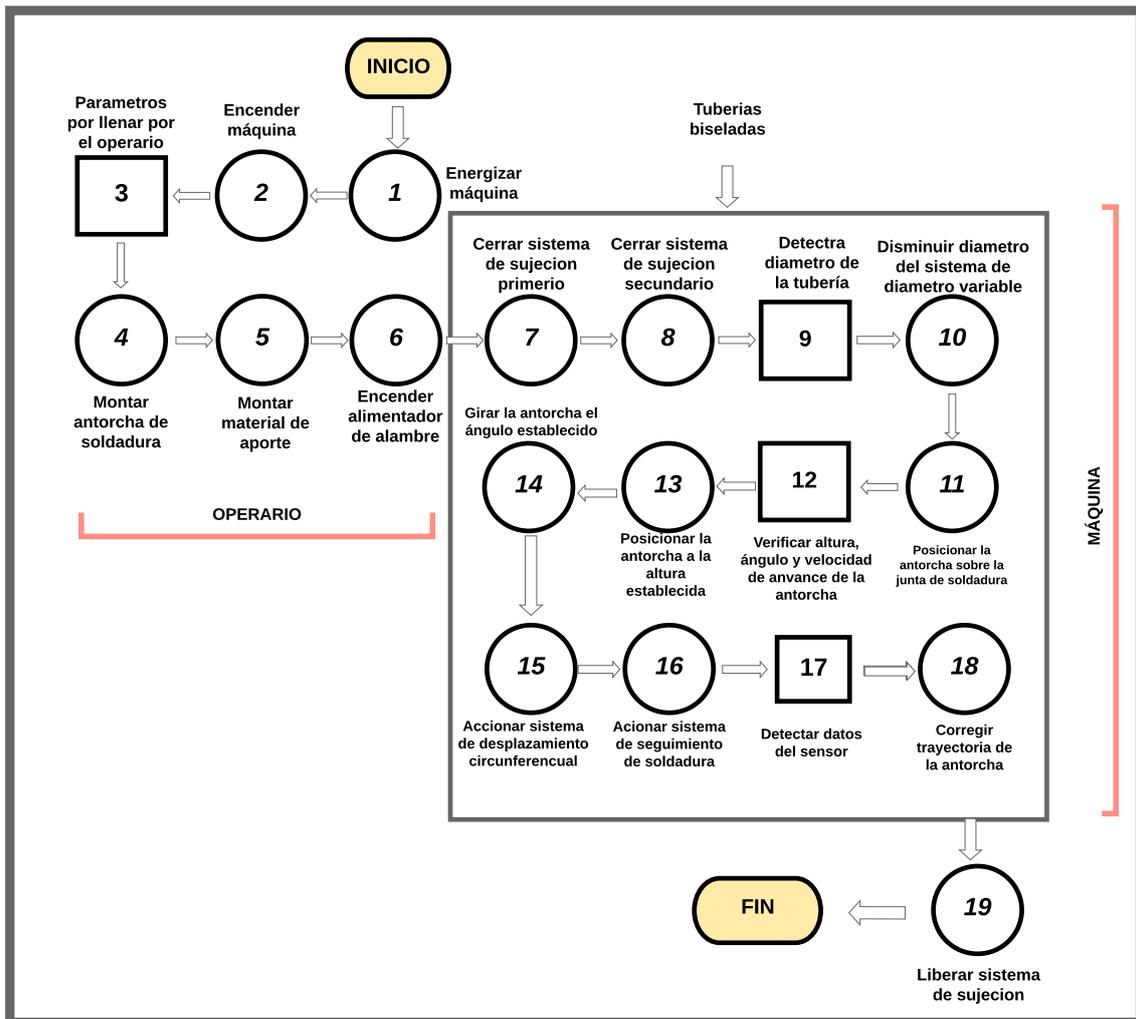


Figura 3.18 – Diagrama de operaciones

Fuente: Elaboración propia.

3.10 Arquitectura de Hardware

A continuación, por medio del análisis técnico económico que se realiza posteriormente, se presenta la arquitectura Hardware a utilizar junto al Concepto Solución Integrado a diseñar en la presente tesis. En el diagrama de bloques mostrado en la Figura 3.19 se aprecian las diferentes líneas de alineación de energía eléctrica y conexiones con los diferentes actuadores, sensores, el controlador y sistemas integrados. Además, podemos apreciar la leyenda de los distintos tipos de línea utilizados en la realización del diagrama de bloques.

Como se aprecia en el diagrama de bloques, se cuenta con dos los siguientes dos sub sistemas: sistema de sujeción y sistema de tractor soldador. El subsistema de sujeción cuenta con 4 pistones eléctricos los cuales fueron seleccionados, ya que lo que se busca es mantener la excentricidad entre el sistema de sujeción y la tubería y mantener el sistema simétrico. Así mismo, se cuenta con el subsistema del tractor soldador, el cual cuenta con motores DC, para accionar el desplazamiento circunferencial; motores a paso para desplazar la antorcha de soldadura y un servomotor para girar la antorcha de soldadura.

Por otro lado, se detallan las conexiones realizadas entre los diferentes sensores, drivers y el módulo de seguimiento de soldadura que se implementará para el correcto control de los actuadores mencionados anteriormente. Cabe resaltar que la fuente de energía primaria será de 220 VAC a 60Hz; en adición, esta energía será transformada a VDC por medio de una fuente switching. La primera línea de energía a utilizar será de 5VDC para la alimentación de los múltiples sensores, drivers y el controlador; y la segunda línea de energía será 12VDC para energizar los diferentes actuadores.

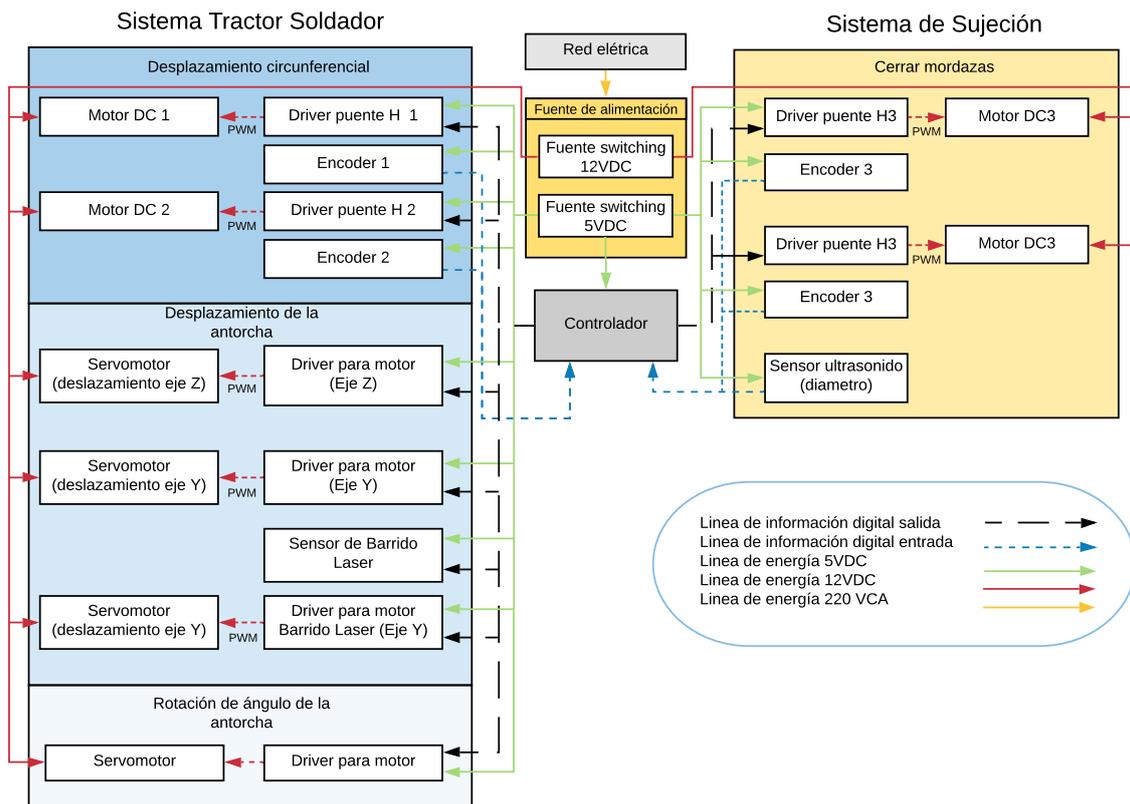


Figura 3.19 – Arquitectura Hardware

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

En el presente trabajo, se concluye del Gráfico Técnico Económica que la solución que mejor cumple con el objetivo de diseñar una máquina automática de soldadura orbital para tuberías de diámetros desde 350 mm hasta 920 mm es la Solución 5, ya que los mecanismos diseñados más el costo que implicaría implementarlos se aproxima a la solución ideal.

También, contar solo con sistema de sujeción con dos actuadores para el cierre de las cremalleras y los bloques de sujeción aumenta la viabilidad del diseño; mientras que los demás conceptos incluyen actuadores para disminuir el diámetro, el Concepto Solución 5 es netamente un conjunto de piezas mecánicas que se deben ensamblar sin posibilidad de fallar. Por otro lado, el mecanismo con mayor precisión para el desplazamiento circunferencial es el de piñón cremallera; mientras que el mecanismo con mayor precisión usado para desplazamientos lineales es el utilizado por los tornillos sin fin. Por ello, el tractor soldador del Concepto Solución 5 es el óptimo.

Además, se concluye que para garantizar la realización del cordón de soldadura limpia y acorde a las normas establecidas por el Instituto Americano de Petróleo (API) en su estándar API 1104 se requirió realizar una matriz morfológica de la cual pudimos diseñar y seleccionar múltiples mecanismos de desplazamiento lineal y rotacional para satisfacer los procedimientos de soldadura e incluir la mayoría de elementos presentes en la matriz.

Por otro lado, para el diseño del sistema eléctrico - electrónico podemos rescatar que la opción más viable y recomendable para accionar los múltiples actuadores del sistema es por medio de actuadores eléctricos, ya que estos pueden ser encontrados en el mercado laboral y

controlar estos actuadores eléctricos en la actualidad es más sencillo con respecto a los demás sistemas hidráulicos y neumáticos; además

También, se concluye que es imprescindible el uso de sensores o visión por computadora para detectar la junta de soldadura y posicionar la antorcha de soldadura sobre esta. El uso de sensores de distancia es una salida rápida y viable para detectar la junta de soldadura; sin embargo, es necesario hacer un análisis completo del tipo de sensor a utilizar y el ambiente en el que se trabaja. Por otro lado, utilizar un sistema de visión por computadora es una mejor opción si se cuenta con una buena cámara, una buena lógica de programación y procesamiento de imágenes, y tener en cuenta el ambiente en el que se va a trabajar.

Además, se concluye que incluir un sistema de seguimiento de junta de soldadura sería idóneo para el presente trabajo de investigación. Este sistema de seguimiento de soldadura va unido al tractor soldador; y su objetivo principal sería obtener cordones de soldadura de mejor precisión y de acuerdo a las normas estandarizadas, ya que este sistema de seguimiento permitiría corregir la trayectoria de la antorcha de soldadura durante el proceso de soldadura si es que se da el caso de que las juntas de soldadura no están correctamente alineadas o hay alguna desviación.

Por último, se puede concluir que contar con un sistema montable y desmontable de manera automatizada permite disminuir los tiempos y realizar un cordón de soldadura de manera más rápida. También, reduce la mano de obra necesaria para colocar el sistema de sujeción sobre las tuberías. En muchos debido al peso que tienen estos sistemas mecánicos se requiere el uso de maquinaria para posicionar el sistema de sujeción; sin embargo, esto no es necesario al contar con el sistema montable y desmontable automatizado. Además, este sistema automatizado facilitaría el transporte de toda la máquina de un tramo del gaseoducto a otro con facilidad.

Referencias

- AHMSA. (2019). Manual de Diseño para la Construcción con Acero. Descargado de https://www.ahmsa.com/assets/files/manuales/manual-ahmsa/Capitulo_1.pdf
- American Petroleum Institute. (2007). API 5L Specification for line pipe. *Api Spec 5L, Forty Four*, 1–40. doi: 10.1520/G0154-12A
- América Economía. (2016). *Descubren cuatro yacimientos de gas en el sur del Perú y no descartan la presencia de otros AméricaEconomía AméricaEconomía*. Descargado de <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/descubren-cuatro-yacimientos-de-gas-en-el-sur-del-peru-y-no-descartan-la>
- API 1104. (1999). Soldadura de Tuberías e Instalaciones Relacionadas.
- Aucancela, V. (2013a). Diseño y construcción de un prototipo de cabezal para soldadura orbital automática en pase de raíz en tubería de ocho pulgadas std con el proceso FCAW para acesilicon design technology LTDA. , 132.
- Aucancela, V. (2013b). Diseño y construcción de un prototipo de cabezal para soldadura orbital automática en pase de raíz en tubería de ocho pulgadas std con el proceso fcDiseño y construcción de un prototipo de cabezal para soldaduraaw para acesilicon design technology ltda.
- Basketball, D., y Machine, S. (2019). Stuemke , Jake Salter , Corey Feit y Andy Wiseman ,.
- BBC News Mundo. (2019). *Cómo es el nuevo megagasoducto con el que Rusia y China dan inicio al acuerdo del siglo - BBC News Mundo*. Descargado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-50647056>
- Beetham, S. (1975). United States Patent TO ” 1C6. (54), 1–3.
- Belen Lopez, J. (2012). Calor específico y Calor Latente. , 201–208.
- Berbakov, P. (2013). Designated extension states. *Office, I*. Descargado de <http://scholar.google.com/scholar?hl=en{%&}btnG=Search{%&}q=intitle:Designated+Extension+States+:{#}0>
- BFMéxico. (2019). *Beneficios de instalar una soldadora automática FlexFast en manufactura*. Descargado de <https://www.bfmx.com/automatizacion/beneficios-de-instalar-una-soldadora-automatica-flexfast/>
- Campodónico, C. (2018). Diseño de una máquina hidráulica astilladora de troncos.
- Conacyt. (2019). *Soldadura orbital para superficies difíciles*. Descargado de <https://centrosconacyt.mx/objeto/orbital/>
- Crowe, S. (2019). *Hirebotics BotX Welder uses UR10e cobots to automate arc weldin*.

-
- Diario el Comercio. (2015). *Técnicos calificados ganan de S/4 mil a S/15 mil mensual*. Descargado de <https://diariocorreo.pe/economia/tecnicos-calificados-ganan-de-s-4-mil-a-s-15-mil-mensual-677766/>
- Diego Ernesto Garcia Pacheco. (2015). Desarrollo de dos procedimientos de soldadura para la fabricación de uniones soldadas en tubería de producción. *Universidad libre Facultad de Ingeniería Instituto de Postgrados Especialización en Soldadura*.
- Duran, J., y Canchila, J. (2016). *Ventajas Y Desventajas De GMAW*. Descargado de <https://prezi.com/zmrjzmkngxvua/ventajas-y-desventajas-de-matlab/>
- El Periódico de la Energía. (2018). *El oleoducto TransAlaska*. Descargado de <https://elperiodicodelaenergia.com/el-oleoducto-transalaska-uno-de-los-mas-grandes-del-mundo-a-punto-de-echar-el-cierre/>
- El Periódico. (2019). *Putin y Xi Jinping inauguran el gasoducto que llevará gas ruso a Pekín*. Descargado de <https://www.elperiodico.com/es/internacional/20191202/putin-xi-jinping-inauguran-gasoducto-llevara-gas-ruso-china-7759452>
- Eraso Guerrero, O. (2008). *Procesos De Manufactura*. , 1–176. Descargado de <http://200.37.174.120/Esp/ProgramacionAcademica/Pregrado/17/syllabus{ }5C170417412.pdf>
- Esan. (2019). *¿Por qué es importante la masificación del gas natural en Perú ?*
- Europapress. (2007). *Crónica internacional (Vol. 4)*. Descargado de <https://www.europapress.es/otr-press/cronicas/noticia-cronica-internacional-nuevo-conflicto-comercial-rusia-bielorrusia-deja-crudo-berlin-varsovia-kiev-20070108204106.html>
- Gamba, S. (2016). *Soldadura automatizada, un gran paso para los fabricantes latinoamericanos*. Descargado de <http://www.metalmecanica.com/temas/Soldadura-automatizada,-un-gran-paso-para-los-fabricantes-latinoamericanos+110570>
- Garc, J. (2015). DE PROPÓSITO GENERAL Javier García Mogollón.
- Gestión. (2016). *¿Qué tipo de profesionales se buscarán más cuando se construya el Gasoducto Sur Peruano Gestión*. Descargado de <https://archivo.gestion.pe/empleo-management/que-tipo-profesionales-se-buscaran-mas-cuando-se-construya-gasoducto-sur-peruano-2172722>
- Gestión. (2019). *Mundo Rusia inauguró su primer gasoducto hacia China NNDC NOTICIAS GESTIÓN PERÚ*. Descargado de <https://gestion.pe/mundo/rusia-inauguro-su-primer-gasoducto-hacia-china-nndc-noticia/>
- Gestion. (2017). *Déficit de soldadores calificados en Perú es de 3,500 por año Gestión*. Descargado de <https://gestion.pe/tendencias/management-empleo/deficit-soldadores-calificados-peru-3-500-ano-131493-noticia/>
- Gómez, P. (2004). Sistema detector de obstáculos basado en tecnología láser. , 1–10.
- González, A., y Torres, G. (2010). Manual de cultivo de metohuayo Caryodendron orinocense Karst. Descargado de <http://repositorio.iiap.org.pe/handle/IIAP/114>
- Jeongmin, K. (2012). *Orbital welding apparatus with side rollers having variable radius of curvature depending on a diameter of pipe*. , 0133357(19), 1–11. Descargado de <https://patentimages.storage.googleapis.com/a0/a2/3f/4422eb4a2ec061/KR20120133357A.pdf>
-

-
- KEHUI. (2019). *Industrial Automation and Intelligence Solutions*. Descargado de <https://www.zzkehui.com/aboutus/aboutkehui/>
- KOOM. (2019). Transmisión por Cremallera.
- Lincoln Electric. (2020a). *APEX™ 2100 ORBITAL WELDING SYSTEM*. Descargado de <https://m.lincolnelectric.com/assets/global/Products/K52003-1/e9620.pdf>
- Lincoln Electric. (2020b). *HELIX® M85 Weld Head*. Descargado de [https://www.lincolnelectric.com/en-us/Equipment/Pages/product.aspx?product=K52101-1\(LincolnElectric\)](https://www.lincolnelectric.com/en-us/Equipment/Pages/product.aspx?product=K52101-1(LincolnElectric))
- Lincoln Electric. (2020c). *HELIX TRACKS FOR ORBITAL & FLAT TRACK WELDING*. Descargado de <https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/K52000-28/e9617.pdf>
- Milánés, V., Naranjo, J. E., González, C., Alonso, J., García, R., y De Pedro, T. (2008). Sistema de posicionamiento para vehículos autónomos. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 5.
- MINAGRI. (2015). *Producción de petróleo*. Descargado de <http://minagri.gob.pe/portal/61-sector-agrario/el-petroleo/344-produccion-de-petroleo#:~:text=EnelPeruseproducen,delpetroleocrudodelpais.>
- MINEM. (2001). Oleoducto nor peruano. , 2001.
- Murhofer, W. E. (1985). Mobile automated pipeline welding and quality control system. *Geothermics*, 14. Descargado de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0375650585900112>
- Nº, D. S. (2007). Aprueban el Reglamento de Transporte de Hidrocarburos por Ductos. (15).
- Norma Técnica Peruana. (2014). PERUANA GAS NATURAL SECO . Sistema de tuberías para instalaciones internas residenciales y comerciales.
- Orinoquia, T. (2016). El Cacay, fruto codiciado por sus propiedades antienvjecimiento, se cultivará en Acacias (Meta). , 2016.
- Osinerg. (2003). Proceso de Supervisión y Fiscalización del Medio Ambiente y Social. Descargado de <http://www4.congreso.gob.pe/congresista/2001/sjaimes/documentos/audiencias/camisea/CAMISEA-08-05-03-OSINERG.pdf>
- Osinergmin. (2013). *Transporte de Gas Natural y Líquidos de Gas Natural por Ductos de Camisea al City Gate*. Descargado de <http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/consumidores{ }industriales/alcance{ }labores-transporte{ }gas{ }natural{ }liquidos.html>
- P. Morales. (2018). *Los combustibles Petróleo, gas natural y carbón*. Descargado de <http://blog.pucp.edu.pe/blog/qm2-202-131/2018/09/09/los-combustibles-petroleo-gas-natural-y-carbon/>
- Pontificia Universidad Católica del Perú. (s.f.). MEC270 Procesos de Manufactura. , 3(1978), 1978–1979.
- Quevedo, F. (2018). Procesos de Soldadura. Descargado de <http://elizaldevi-proc-manu.blogspot.com/2013/06/laminado.html>

-
- QUIMICA GENERAL. (2011). *Calor Específico y Capacidad Calorífica*. Descargado de <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/131-calor-especifico-y-capacidad-calorifica.html>
- Quispe, J. (2014). Universidad nacional de ingeniería facultad de ingeniería mecánica.
- Rieder, P. (2015). *Three Welding Manipulator Seam Tracking Options How To Find The Right One For You*. Descargado de <https://www.ljwelding.com/blog/welding-with-seam-tracking>
- Rinaldi, F. (1998). System for automatically controlling weld material beading in orbital welding processes for medium and large size pipes System. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53.
- Rinaldi, F., Denaro, R., y Crivallaro, G. (1998). System for automatically controlling weld material beading in orbital welding processes for medium- and large-size pipes System. Descargado de <https://patentimages.storage.googleapis.com/07/4c/6e/3307c22985a134/EP0684101B1.pdf>
- Ritmo. (2019). *delta 800 Fusión a Tope Alta Presión RITMO Fittings Machines Manufacturing*. Descargado de <https://www.ritmo.it/es/butt-fusion-for-pressure-pipe/delta-800/>
- Rodriguez, H. (2013). Sistemas automáticos de control. , 1–21. Descargado de <http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/TecnologiaIndustrial/3-SISTEMAS-AUTOMÁTICOS-DE-CONTROL-ampliacion-PAG-1-a-34.pdf>
- RPP. (2014). *Gasoducto del Sur demandará más de dos mil soldadores RPP Noticias*. Descargado de <https://rpp.pe/economia/economia/gasoducto-del-sur-demandara-mas-de-dos-mil-soldadores-noticia-739937>
- Seenouvang, N. (2016). A computer vision based vehicle detection and counting system. *2016 8th International Conference on Knowledge and Smart Technology, KST 2016*.
- Senati. (2014). Técnico Operativo.
- SENATI. (2017). *SENATI Y SOLDEXA INAUGURAN EL PRIMER CENTRO DE EXCELENCIA EN SOLDADURA SENATI*. Descargado de <https://www.senati.edu.pe/noticias/senati-y-soldexa-inauguran-el-primer-centro-de-excelencia-en-soldadura>
- Servo Robot Inc. (2013). *iCUBE Universal Robot Sensor SERVO ROBOT Inc*.
- Siguenza, M. (2018). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SENSOR HÍBRIDO DE BAJO COSTO PARA SEGUIMIENTO DE UNIONES EN SOLDADURA MIG*.
- Soldadura, A. D. E. (2019). Catálogo 2019. Descargado de http://edrtorches.com/wp-content/uploads/2018/07/esEDRCAT_BOT_2019_r.pdf
- Soldexa. (2019). Smaw Contenido General.
- Sputnik Mundo. (2014). *El oleoducto Druzhba, el más largo del mundo - Sputnik Mundo*. Descargado de <https://www.kitempleo.pe/empleo/6651630/practicante-mantenimiento-v-955-chosica/>
- TeleSUR. (2017). *China inicia soldadura de tuberías del gasoducto ruso - YouTube*. Descargado de <https://www.youtube.com/watch?v=qYxiw1Pd1PU>
-

-
- torches, E. (2019). *ROBÓTICA ANTORCHAS DE SOLDADURA* (Inf. Téc.). Descargado de www.edrtorches.com
- Vemetool. (2010). Manual para el soldador TIG. , 2010(311).
- Venegas, Y. (2015). *Welding And Safety - Linea de tiempo de la Soldadura*. Descargado de <http://weldingandsafety.blogspot.com/2015/07/linea-de-tiempo-de-la-soldadura{ }6.html>
- Vilaca, P., Magalhaes, P., Gouvela, H., y Quintino, L. (2003). *Sistemas de control y monitorización para la soldadura*. Descargado de <http://www.interempresas.net/Medicion/Articulos/12133-Sistemas-de-control-y-monitorizacion-para-la-soldadura.html>
- Watanabe, Y., y Yuta, S. (1990). Position estimation of mobile robots with internal and external sensors using uncertainty evolution technique. , 2011–2016.
- Zhao, Y., Liu, F., y Wang, R. (2017). Location technology of indoor robot based on laser sensor. *Proceedings of the IEEE International Conference on Software Engineering and Service Sciences, ICSÉSS*.

