

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PUCP**

**Diseño conceptual de un vehículo autónomo para el traslado de una máquina  
de soldadura orbital**

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

**AUTOR:**

Juan Diego Vargas Núñez

**ASESOR:**

Michel Sigüenza Astoquillca

Lima, febrero, 2021

## Resumen

Dado el incremento de demanda en energía que se puede observar en los países en desarrollo los últimos años, y siendo el gas natural una fuente confiable y con un costo reducido en comparación a otros hidrocarburos, se percibe una necesidad de aumentar la distribución de este a más regiones del país, pero para realizar esto, se requiere de implementación de ductos que transporten el hidrocarburo hacia zonas cercanas a las urbanizaciones. Por ello, el objetivo en del presente trabajo de investigación es encontrar una forma eficiente y veloz de realizar el proceso de soldadura, al reemplazar el sistema manual usado actualmente en el Perú al desarrollar un vehículo que traslade y posicione automáticamente una máquina de soldadura orbital. Una de las ventajas que se esperan de forma directa es la reducción de los fallos en la realización de uniones por soldadura, los cuales son aproximadamente el 8% de las uniones soldadas (Congreso de la República del Perú, 2006). La metodología usada para evaluar los conceptos de solución que se planteen será una aproximación general a la norma VDI 2206 y la VDI 2221, empleadas para el diseño de sistemas técnicos y productos (Pahl, Beitz, Feldhusen, & Grote, 2013). En este presente documento se abordarán los problemas actuales que presenta el proceso actual, luego se procederá a investigar sobre dispositivos que cumplan funciones similares a las deseadas o que puedan ser acoplados al diseño, luego con toda la información obtenida se busca crear tres posibles soluciones para compararlas y finalmente llegar al concepto óptimo que podría aplicarse para este problema.

## Índice

Resumen .....	i
Índice .....	ii
Índice de Figuras.....	iv
Índice de Tablas .....	vi
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Descripción del Problema .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Propuesta de Solución.....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Descripción del Problema.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1 Objetivos.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.2 Alcance.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4 Identificación de Usuarios, Cliente, Interesados Y Sus Necesidades .....</b>	<b>8</b>
<b>1.5 Metodología del Trabajo .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 2 Marco Teórico .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Soldadura GTAW .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Soldadura GMAW.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Soldadura Orbital.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 3 ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Soluciones Comerciales de Vehículos Móviles .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Subsistemas del Vehículo.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.1 Soluciones para la traslación del vehículo.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.2 Soluciones para la plataforma de elevación.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.3 Soluciones para la navegación autónoma del vehículo.....</b>	<b>31</b>
<b>CAPÍTULO 4 MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Sistemas para la Identificación de Objetivos .....</b>	<b>33</b>
<b>4.2 Procesamiento de Imágenes:.....</b>	<b>34</b>
<b>4.3 Soluciones Para El Control A Distancia .....</b>	<b>37</b>
<b>4.4 Sistemas para Control de Procesos .....</b>	<b>39</b>
<b>4.5 Actuadores.....</b>	<b>42</b>
<b>CAPÍTULO 5 DISEÑO CONCEPTUAL.....</b>	<b>45</b>
<b>5.1 Lista de Exigencias.....</b>	<b>45</b>
<b>5.2 Estructura De Funciones .....</b>	<b>48</b>

5.2.1	<b>Blackbox</b> .....	48
5.2.2	<b>Función Principal</b> .....	49
5.2.3	<b>Entradas</b> .....	49
5.2.3.1	<i>Entradas de energía</i> .....	50
5.2.3.2	<i>Entradas de materia</i> .....	50
5.2.3.3	<i>Entradas de señal</i> .....	50
5.2.4	<b>Salidas</b> .....	50
5.2.4.1	<i>Salidas de energía</i> .....	50
5.2.4.2	<i>Salidas de materia</i> .....	51
5.2.4.3	<i>Salidas de señal</i> .....	51
5.2.5	<b>Subsistemas</b> .....	52
5.2.5.1	<i>Subsistema mecánico</i> .....	52
5.2.5.2	<i>Subsistema de actuadores</i> .....	53
5.2.5.3	<i>Subsistema de sensado</i> .....	54
5.2.5.4	<i>Subsistema de energía</i> .....	55
5.2.5.5	<i>Subsistema de procesamiento de datos</i> .....	56
5.2.5.6	<i>Subsistema de interacción con el usuario</i> .....	57
5.2.6	<b>Estructura de funciones global</b> .....	58
5.3	<b>Estructura De Funciones</b> .....	59
5.4	<b>Conceptos de Solución</b> .....	62
5.4.1	<b>Concepto 1</b> .....	69
5.4.2	<b>Concepto 2</b> .....	71
5.4.3	<b>Concepto 3</b> .....	73
5.5	<b>Evaluación Técnico-Económica</b> .....	75
5.5.1	<b>Descripción de los criterios técnicos de la evaluación</b> .....	75
5.5.2	<b>Descripción de los criterios económicos de la evaluación</b> .....	77
<b>CONCLUSIONES</b> .....		79
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....		81

## Índice de Figuras

Figura 1.1-1: Mapas de Gasoductos en el Perú.....	4
Figura 1.1-2: Proceso de soldadura en gasoductos del sur peruano.....	5
Figura 2.1-1: Soldadura TIG .....	11
Figura 2.1-2: Elementos de soldadura GTAW .....	12
Figura 2.2-1: Proceso de soldadura GMAW.....	13
Figura 2.2-2: Equipo de soldadura GMAW.....	14
Figura 2.3-1: PipeKAT .....	15
Figura 2.3-2: T Head 419.....	15
Figura 2.3-3: Pipeliner II 609.....	15
Figura 2.3-4: Model 15 .....	15
Figura 2.3-5: AdaptARC .....	15
Figura 2.3-6: Partes de una máquina de soldadura orbital .....	16
Figura 2.3-7: Oscilación lineal de la antorcha .....	17
Figura 2.3-8: Palanca de accionamiento de las manijas de bloqueo.....	18
Figura 3.1-1: THeMIS .....	20
Figura 3.1-2: Security Robot S7.2.....	20
Figura 3.1-3: Kobra .....	21
Figura 3.2-1: All terrain vehicle.....	23
Figura 3.2-2: A Hybrid Tracked-Wheeled Multi-Directional Mobile Robot .....	24
Figura 3.2-3: Design and Analysis of a Hybrid Mobile Robot Mechanism with Compounded Locomotion and Manipulation Capability .....	25
Figura 3.2-4: Dump truck mechanism .....	26
Figura 3.2-5: Scissors Work Lift Platform.....	28
Figura 3.2-6: Scissors Lift Platform with Electronic Control.....	28
Figura 3.2-7: A Low Profile Electromagnetic Actuator Design and Model for an Origami Parallel Platform.....	29
Figura 3.2-8: Triple Scissor Extender: A 6-DOF lifting and positioning robot.....	31
Figura 4.1-1: FLIR Backfly S.....	34
Figura 4.1-2: Lucid Vision Labs Atlas.....	34
Figura 4.1-3: Allied Vision Guppy FireWire .....	34
Figura 4.1-4: JAI Camera Link .....	34
Figura 4.3-1: Cómo Funciona el Bluetooth .....	38
Figura 4.3-2: Cómo funciona el WiFi.....	38
Figura 4.3-3: Cómo funciona el 3G.....	39
Figura 4.4-1: Microcontrolador Genuino UNO de Arduino.....	40
Figura 4.4-2: Pi 4B de Raspberry Pi.....	41
Figura 4.5-1: Partes Principales de un motor DC .....	43
Figura 5.2-1: BlackBox (Elaboración Propia) .....	49
Figura 5.2-2: Subsistema mecánico .....	52
Figura 5.2-3: Subsistema de actuadores.....	53
Figura 5.2-4: Subsistema de sensado .....	54
Figura 5.2-5: Subsistema de energía.....	55
Figura 5.2-6: Subsistema de procesamiento de datos.....	56

<b>Figura 5.2-7: Subsistema de interacción con el usuario</b> .....	57
<b>Figura 5.2-8: Estructura de Funciones (Elaboración Propia)</b> .....	59
<b>Figura 5.3-1: Diagrama de Operaciones (Elaboración Propia)</b> .....	61
<b>Figura 5.4-1: Concepto de solución 1 (Elaboración Propia)</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 5.4-2: Arquitectura de Hardware del Concepto 1 (Elaboración Propia)</b> ...	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 5.4-3: Concepto de solución 2 (Elaboración Propia)</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 5.4-4: Arquitectura de Hardware del Concepto 2 (Elaboración Propia)</b> ...	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 5.4-5: Concepto de solución 3 (Elaboración Propia)</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 5.4-6: Arquitectura de Hardware del Concepto 3 (Elaboración Propia)</b> ...	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 5.5-1: Criterio de Solución Óptima (Elaboración Propia)</b> .....	¡Error! Marcador no definido.



## Índice de Tablas

<b>Tabla 2.3-1: Comparación de Máquinas de Soldadura Orbital</b> .....	15
<b>Tabla 4.4-1: Comparación de tipos de controladores (Elaboración Propia)</b> .....	41
<b>Tabla 4.5-1: Comparación de Motores (Elaboración Propia)</b> .....	44
<b>Tabla 5.1-1: Lista de Exigencias (Elaboración Propia)</b> .....	45
<b>Tabla 5.4-1: Conceptos de Solución (Elaboración Propia)</b> .....	62
<b>Tabla 5.5-1: Escala de efectividad de las soluciones (Elaboración Propia)</b> .....	75
<b>Tabla 5.5-2: Pesos relativos (Elaboración Propia)</b> .....	75
<b>Tabla 5.5-3: Análisis de Solución Óptima (Elaboración Propia)</b> .....	78





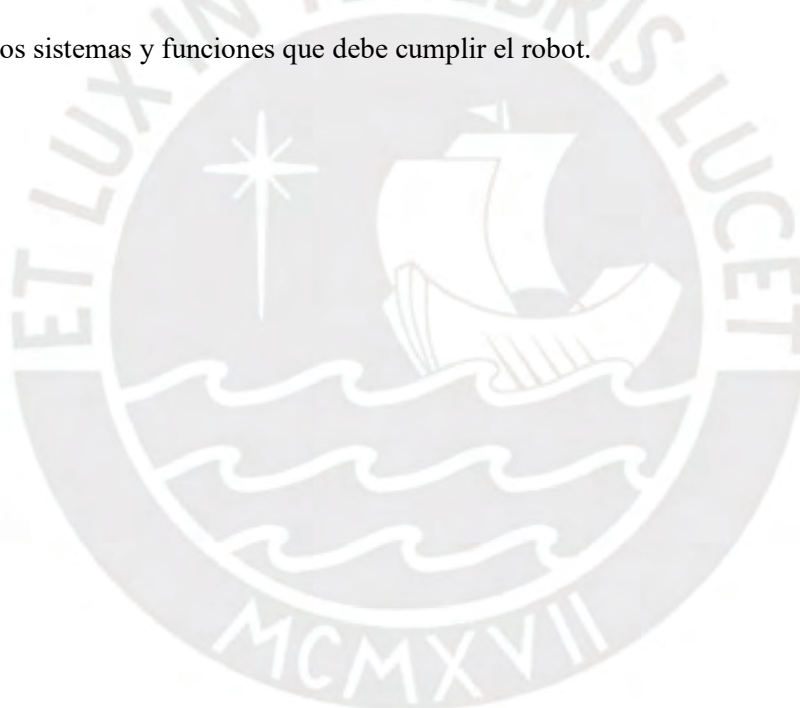
## INTRODUCCIÓN

El combustible es un recurso valioso para el funcionamiento de la sociedad actual, existen diversos tipos de combustibles que son empleados en diversos tipos de labores desde la industria hasta el hogar. El combustible extraído del Perú es mayormente gas natural el cual tiene un costo bajo en comparación con otros tipos de hidrocarburos, lo que lo convierte en un punto fuerte de enfoque en lo que respecta al desarrollo del país. El gas natural es un combustible que se traslada principalmente mediante tuberías desde la fuente hasta el punto de consumo, por lo que tener una red que cubra todo el territorio del país es fundamental para poder abastecer a todas las comunidades. Lamentablemente el proceso de elaboración de estas líneas de abastecimiento es un proceso complejo debido a las dimensiones de los ductos empleados, los cuales varían entre 14 y 32” de diámetro, dado que la unión de dos tramos de ductos se tiene que realizar mediante soldadura y en la actualidad la soldadura que se realiza es manual, lo que para realizarlo en un elemento de esta magnitud es una labor muy difícil.

Una solución para el problema de la soldadura manual es emplear una máquina especializada en soldar circunferencias llamada máquina de soldadura orbital, de tal forma que se elimine el factor humano en la soldadura y estas se realicen de forma más consistente y con menor cantidad de fallas. Pero este sistema no logra automatizar del todo el proceso de soldadura debido a que la máquina de soldadura orbital debe ser colocada de forma manual, por lo que en el presente trabajo de investigación se procura eliminar la parte manual del proceso y volver el sistema 100% automatizado. Para esto se proponen tres conceptos de solución para la problemática que se desea solucionar con sus respectivos diseños conceptuales y comparaciones de ventajas y desventajas entre estos para así poder decidir cuál de todos es el modelo más adecuado a partir de comparaciones cuantificables de sus características. Entre los puntos a favor que presentan los conceptos planteados se encuentran la automatización completa del sistema, por lo que no se requiere de una supervisión constante de sus labores, además el implementar el sistema planteado al emplear una máquina de soldadura automática, se mitiga el impacto del error humano en las soldaduras y se elimina el tiempo de descanso que requeriría un soldador al trabajar en su lugar.



En el documento se detalla la información relacionada al trabajo de investigación organizada en capítulos. En el primer capítulo, se aborda la problemática sobre la falta de automatización en el proceso de soldadura, se explican las propuestas de solución, los objetivos y el alcance del documento. En el segundo capítulo se trata sobre conceptos previos a conocer para colocarse en contexto, tales como las definiciones y principios detrás de la soldadura. En el capítulo tres se realiza un análisis del estado del arte para brindar un panorama general y obtener perspectiva respecto al sistema respecto a las tecnologías que existen y conceptos importantes a ser considerados a futuro en la realización del diseño. En el cuarto capítulo se explica el diseño conceptual, los requerimientos y la definición de los sistemas y funciones que debe cumplir el robot. Por último, en el quinto capítulo se explica el diseño conceptual, los requerimientos y la definición de los sistemas y funciones que debe cumplir el robot.



## CAPÍTULO 1

### DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción del Problema

Debido al desarrollo de países del tercer mundo, como es el caso del Perú, la demanda energética presenta un aumento, por lo que es primordial para estos países obtener diversas fuentes energéticas, por ejemplo, el gas natural. Pero para poder abastecerse de estas fuentes, se requiere de un transporte que sea estable y eficiente, como el transporte por medio de ductos (KOBE STEEL, 2013). Las uniones de los ductos que transportan hidrocarburos son realizadas mediante un proceso de soldadura, en el cual se emplean comúnmente los métodos de soldadura SMAW, GTAW (TIG), GMAW (MIG) y SAW. (KOBE STEEL, 2013). Estos procesos se pueden ejecutar de dos maneras: la primera es mediante soldadura manual, en la cual un soldador realiza el cordón de soldadura a mano alzada y la segunda es un proceso automático de soldadura orbital, en el cuál un equipo llamado “máquina de soldadura orbital” realiza el cordón de soldadura al rotar alrededor del tubo, apoyándose en un mecanismo que le facilita desplazarse de forma estable sobre la superficie del ducto.

En el ámbito mundial, se puede observar la existencia de múltiples ejemplos de ductos transportadores de hidrocarburos en la actualidad, entre ellos cabe resaltar el gasoducto de “Sila Sibiri”, el cuál une a Rusia y China con una extensión de aproximadamente 4800 km, además de que estas juntas fueron realizadas con soldadura manual (RT). Otro ejemplo de soldadura de ductos es el realizado en Arabia Saudita, el cual

comprende el camino de Ras Al Zaur hasta Riyadh. Las uniones de este ducto, a diferencia de las mencionadas anteriormente, se realizaron de forma automática con una máquina de soldadura orbital (Serimax, 2017).

En lo concerniente a gasoductos, el Perú cuenta con dos: el primero de ellos es el de Camisea, el cual comienza en la selva de Cusco, atraviesa la región de selva y sierra y finalmente llega a la zona costera, para abastecer Lima, Callao e Ica con una extensión de 729 km (TGP, 2015). Con respecto al segundo, es el Gasoducto Sur Peruano, tal como indica su nombre, este se encarga de abastecer a la zona sur del Perú, atravesando Cusco, Arequipa y Moquegua con una extensión de 1134 km (El Comercio, 2014). Además, se cuenta con un proyecto extra, el cual contempla la parte norte del Perú, mas este aún no está implementado en su totalidad. En la Figura 1.1-1 se puede apreciar el mapa de los ductos antes mencionados.



**Figura 1.1-1: Mapas de Gasoductos en el Perú<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Fuente: (El Comercio 2014)

Los ductos usados para soldarse en los proyectos de transporte energético en el territorio peruano, poseen una longitud estándar de 12 metros, pero puede variar ligeramente entre cada ducto. (Congreso de la República del Perú, 2006) Otra de sus características es que poseen un diámetro que varía entre 14", 18", 24" y 32" según sea la función que necesite cumplir, el proceso de soldadura usado es FCAW o SMAW (Jaimes Serkovic, 2003) y se ejecuta de forma manual por personal altamente calificado, como se puede apreciar en la

Figura 1.1-2 un ejemplo de dos soldadores realizando un cordón en Camisea (Redacción Gestión, 2015),



por lo que no es fácil encontrar a muchos trabajadores para colaborar de forma más rápida y eficiente.

### **Figura 1.1-2: Proceso de soldadura en gasoductos del sur peruano<sup>2</sup>**

Entre los principales problemas que se pueden reconocer gracias a las estadísticas obtenidas de las uniones soldadas mediante pruebas no destructivas realizadas por Germanischer Lloyd para OSINERG en el año 2007, se aprecia que uno de los mayores problemas de la soldadura manual es la alta falibilidad que tiene el hombre, que, a pesar de tener mucha experiencia y habilidad, sigue generando un 8% de uniones que son rechazadas por la norma del Instituto Americano de Petróleo - API 1104, (Congreso de la República del Perú, 2006). Este problema no sólo significa un retraso debido a la necesidad de rehacer la unión, sino que también se tienen que separar las uniones fallidas y en el peor de los casos, se generan mermas, porque el ducto se debe desechar y todo esto se traduce en un incremento de costos para el proyecto en general porque

---

<sup>2</sup> Fuente: (Diario Gestión 2015)

se le debe pagar a los soldadores por el tiempo que tardan en corregir la unión además de que la maquinaria se debe usar por más tiempo del que fue planeado inicialmente (Wendland).

Los problemas que son producto de malas uniones, se pueden observar en los accidentes que sucedieron en otros países, por explosiones de ductos que transportan hidrocarburos, como México, Venezuela, Colombia, China, Bélgica, Ucrania y España, que conllevaron a pérdidas materiales y humanas (Perú 21, 2006), por lo que se considera como una prioridad disminuir la probabilidad de que éstos incidentes sucedan.

Por lo que una forma de resolver el problema de soldaduras irregulares y reducir el error es mediante un equipo que ya existe en el mercado, llamado máquina de soldadura orbital, el cual es un elemento que realiza las soldaduras de circunferencias de forma automática. Pero a partir de esta situación surgen problemas tales como que si bien la máquina es automática en el proceso de soldadura, esta debe ser trasladada manualmente entre cada punto de soldadura, y dado que los equipos de soldadura orbital tienen un peso que oscila entre los 20-40 kg y las fuentes de soldadura que deben trasladarse junto con ellos tienen un peso entre 35-50 kg, se requeriría de un equipo específico dedicado a esperar a que la máquina de soldadura termine de soldar y trasladarla al siguiente punto manualmente, pero esto conlleva un problema ergonómico para los trabajadores por la necesidad trasladar los equipos por 18 metros de forma repetida durante un mismo día. Por lo que sería óptimo desde el punto de vista ergonómico y de costos, el emplear una máquina que automatice el proceso de recojo, traslado y la colocación de la máquina de soldadura orbital en la siguiente posición requerida.

## **1.2 Propuesta de Solución**

De acuerdo a lo expuesto en la descripción del problema, se busca realizar una investigación para el desarrollo de conceptos de solución de un vehículo automático que pueda transportar una máquina de soldadura orbital y su respectiva fuente de alimentación, además de tener la capacidad auxiliar a la máquina de soldadura orbital en su acoplamiento al ducto que se desee soldar, acercando el sistema de soldadura al ducto y posicionándolo en el lugar correcto en el cual se requiera al apoyarse en un proceso de visión por

computadora, con el cual se identifica las posiciones de las bridas que sostienen los ductos y de éste modo se puede conocer la posición en la que debe montarse la máquina de soldadura.

### **1.3 Descripción del Problema**

#### **1.3.1 Objetivos.**

- **Generales:**

Evaluar los conceptos de solución y la seleccionar el modelo óptimo para un vehículo automático para ubicación y colocación de un sistema orbital de soldadura en ductos de transporte de hidrocarburos.

- **Específicos:**

- Investigar los conceptos relacionados al desarrollo de vehículos que se trasladan en terrenos no asfaltados, máquinas de soldadura orbital y su funcionamiento, además de métodos de comunicación y formas de manipulación remota.
- Definir los requerimientos de dimensiones, movimiento, comunicación y potencia del sistema planteado.
- Identificar las funciones específicas para el traslado y posicionamiento que debe realizar el sistema que se plantee para que cumpla con los requerimientos definidos.
- Desarrollar conceptos de solución que cubran los requerimientos del sistema y seleccionar el óptimo.

#### **1.3.2 Alcance.**

El alcance del proyecto se orienta hacia el planteamiento de un concepto de solución óptimo de un vehículo que transporte una máquina de soldadura orbital para apoyar en fabricación de uniones soldadas en ductos que transporten hidrocarburos por vía terrestre. Ductos tales como los que se pueden observar en Camisea, los cuales poseen diámetros de 14", 18", 24" y 32" (355.6, 457.2, 635, 812.8 mm) (Jaimes Serkovic, 2003), estas tuberías siguen la norma API 5L X Grado 70 y se encuentran fabricadas con acero al carbono, además son revestidas con polietileno tricapa para evitar la corrosión al enterrar los ductos en el suelo (Germanischer Lloyd Industrial Services, 2007).



#### 1.4 Identificación de Usuarios, Cliente, Interesados Y Sus Necesidades

Para la creación de las redes de tuberías, se contrataron un grupo de empresas encargadas del transporte del hidrocarburo, por lo que éstas pueden ser potenciales clientes para el uso de la idea que se plantea, entre ellas se tiene a Perú LNG, Kuntur, Transcogas y TGP (Transportadora de Gas del Perú).

Entre las empresas interesadas en el servicio de TGP se encuentran clientes industriales tales como Alicorp, Refinería la Pampilla, Cerámica San Lorenzo, entre otros. También tienen entre sus clientes a generadoras eléctricas, tal como Enel Generación Perú. Y por último tienen de clientes a distribuidores de gas como Cálidda y Contugas (TGP, 2016).

Entre las necesidades de los clientes de este proyecto se encuentran reducción de mermas, que se causan al cometer errores al realizar las juntas de soldadura de los ductos, así como interés para automatizar el proceso, con el fin de disminuir costos, al no tener que pagarle a un soldador por su mano de obra y además disminuir tiempos en el proceso que, al retirar el factor humano de éste, no son necesarios recesos por fatiga y por ende se reducen los tiempos de producción.

En cuanto a las necesidades de los interesados, se considera a un grupo más amplio de sectores, entre los cuales se considera a la industria, el transporte y algunos tipos de negocios. Lo que tienen en común todos estos grupos es su necesidad de disponibilidad de un combustible de bajo costo. Las razones para el interés de estos grupos varían, en lo concerniente a la industria posee varios motivos, entre ellos que es un combustible más limpio, de menor costo de los que se usan de forma común, con menor grado de peligrosidad, mayor eficiencia, y además es un servicio que se brinda de forma constante de la misma forma que la luz o el agua lo que simplifica la logística, ya que no es necesario el transporte de los combustibles. Si bien los sectores se benefician de distinta forma, todos tienen en común que potencialmente se beneficiarían de muchas formas si este sistema de ductos cubriese una mayor área en el país (OSINERG). Por último, el usuario de este vehículo, puede ser un ingeniero especializado en soldadura o un técnico especializado en la misma área, para que puedan supervisar sus labores y poder intervenir en caso de algún imprevisto, además de poder cambiar los valores de la máquina soldadora según convenga en la situación. Las necesidades para el usuario que se consideran es que la interfaz de interacción sea simple y amigable,

de modo que el tiempo de capacitación para su uso sea bajo y en caso de complicaciones, se puedan solucionar de forma rápida, sin tener que complicarse con demasiados controles.

## 1.5 Metodología del Trabajo

Se emplea la metodología de diseño mecatrónico basada en la norma VDI 2206 y la norma VDI 2221 para el diseño de sistemas técnicos y productos para el desarrollo del trabajo, usando una aproximación general (Pahl, Beitz, Feldhusen, & Grote, 2013). El objetivo de usar esta metodología es poder separar el proceso en diversas fases iterativas hasta que se cumplan los requerimientos deseados. Este documento se encuentra dividido en tres etapas generales:

- Planeamiento del Producto, en el cual se busca definir la problemática para lo cual se busca de múltiples fuentes el proceso actualmente realizado y se identifican los problemas en la realización de este, gracias a esto se puede plantear la propuesta que se busca que resuelva el problema, junto con el alcance que se busca abarcar y los objetivos que se plantean.
- Proyecto Informacional, luego se realiza una investigación del estado del arte relacionado a cada parte del proyecto, al analizar el traslado se indaga sobre carros capaces de moverse en terrenos desiguales de suelo no afirmado, además de plataformas de elevación existentes, formas de automatizar vehículos, la electrónica requerida. Conociendo los conceptos que ya existen en la actualidad se puede pasar a definir las exigencias del proyecto y las funciones que la máquina necesita para poder solucionar el problema.
- Proyecto Conceptual, gracias a toda la información recaudada se posee una definición clara de la dirección que se desea que tome este trabajo de investigación por lo que se procede a desarrollar la estructura de funciones de la máquina y con esto se realiza una matriz morfológica para buscar tres conceptos de solución que solucionen la problemática. Se evalúan todos los prospectos de concepto de solución óptimo y mediante un análisis técnico-económico se logra encontrar el concepto de solución óptimo.

## CAPÍTULO 2

### Marco Teórico

Para colocarse en contexto, es importante conocer qué es la soldadura, para ello hay que remitirse a la definición de la Sociedad Americana de Soldadura (con siglas AWS) “Es un proceso de unión que produce la coalescencia de materiales calentándolos hasta la temperatura de soldadura, con o sin la aplicación de presión o mediante la aplicación de presión o mediante la aplicación de presión sola, y con o sin el uso de material de aporte” (2019).

Existen diversos tipos de soldadura, pero dado que no todos son aplicados en la soldadura de ductos, la investigación se centrará en dos de estos procesos que son más comunes para este fin, los cuales son la soldadura GTAW y GMAW.

#### 2.1 Soldadura GTAW

El proceso de soldadura GTAW (llamado así por sus siglas en inglés *Gas Tungsten Arc Welding* que significa Soldadura de Arco Bajo Gas Protector con electrodo de tungsteno, también conocido como TIG antes de la estandarización de términos hecha por la *American Welding Society* o AWS) se produce mediante la formación de un arco eléctrico entre la pieza que se desea soldar y el electrodo no consumible, este arco alcanza una temperatura de 19 500°C y hace que el material se funda, mientras esto sucede el gas inerte es suministrado sin aplicar presión para

proteger el proceso de fusión, al aislarlo del aire, esto se puede observar en la Figura 2.1-1, el gas más usado es el argón, porque al ser un gas inerte no forma compuestos con ninguna otra sustancia, además a diferencia del helio, es más pesado que el aire por lo que necesita la mitad de la velocidad de flujo que el helio requiere. Es posible usar en el proceso metales de aporte tales como acero inoxidable, acero al carbono, aluminio, níquel, que son materiales que modifican en algún aspecto la química del cordón de soldadura, alterando sus propiedades, por ejemplo, aumentando su resistencia mecánica. Entre las características de este proceso de soldadura podemos observar tanto ventajas como desventajas:



**Figura 2.1-1: Soldadura TIG<sup>3</sup>**

Entre sus ventajas se puede apreciar su versatilidad para hacer soldaduras de calidad en muchos tipos de metales, casi cualquier posición y espesor de la pieza. Además, es un proceso limpio, dado que no deja escoria y por ello no requiere de limpieza posterior.

En cuanto a las desventajas, resalta su alto costo en comparación con otros métodos de soldadura, relacionado a que este tipo requiere de tiempo para realizarse, además que requiere de una gran destreza del soldador que la realice. (Jeffus, 2010)

El equipo que requiere se puede apreciar en la

<sup>3</sup> Fuente: [https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/images/tig\\_v2.jpg](https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/images/tig_v2.jpg)

Figura 2.1-2, entre los elementos se tiene una fuente la cual se conecta tanto al cable de la antorcha, el cual se conecta al tungsteno como a la pinza a tierra, la cual se debe colocar en la pieza que se desea soldar, con el fin de que se forme el arco eléctrico, finalmente tenemos el cilindro con gas protector, el cual se conecta a una tobera en la antorcha de soldadura.



**Figura 2.1-2: Elementos de soldadura GTAW<sup>4</sup>**

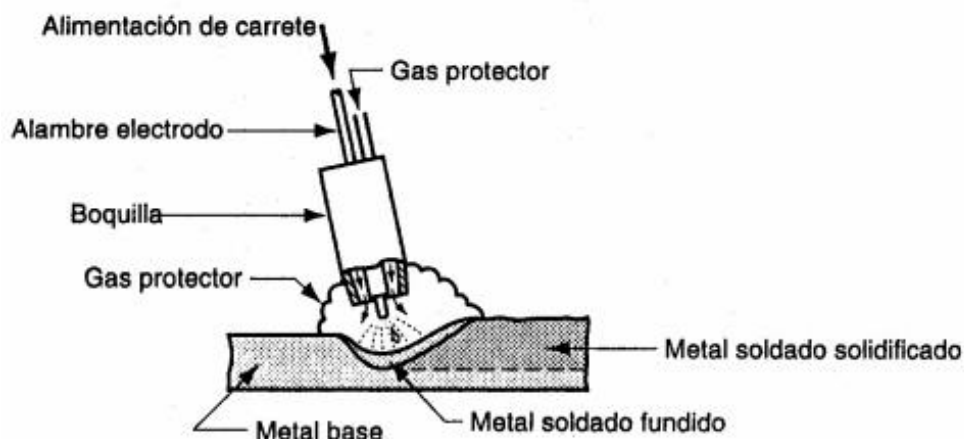
## 2.2 Soldadura GMAW

Este proceso, llamado por sus siglas en inglés de *Gas Metal Arc Welding* que significa Soldadura Por Arco Metálico Bajo Gas Protegido en español. Las denominaciones que derivan de éste como MIG (*Metal Inert Gas*) o MAG (*Metal Active Gas*) dependen del tipo de gas que se usa y éste a su vez depende de qué material base es el que se va a soldar. Este proceso de soldadura, a diferencia del GTAW, usa un alambre que se alimenta de forma constante mientras se suelda, debido que este actúa como un electrodo y el calor resultante del arco eléctrico hace que se funda en la unión, cabe resaltar que durante toda la operación se emite el gas protector correspondiente al material base para evitar su oxidación, este proceso se puede apreciar en la

**Figura 2.2-1.**

<sup>4</sup> Fuente: [https://www.telwin.com/export/sites/default/en/telwin-academy/img/IMG21\\_E.gif](https://www.telwin.com/export/sites/default/en/telwin-academy/img/IMG21_E.gif)

Entre sus ventajas se destaca que no requiere de una larga curva de aprendizaje para la manipulación del equipo, el tiempo de realización de los cordones de soldadura es menor, lo que a su vez beneficia al material ya que evita que se caliente de más, tolera aperturas y desajustes ya que se pueden corregir superponiendo puntos, reduce las mermas en insumos en el proceso (Jeffus y Rowe, 2008)

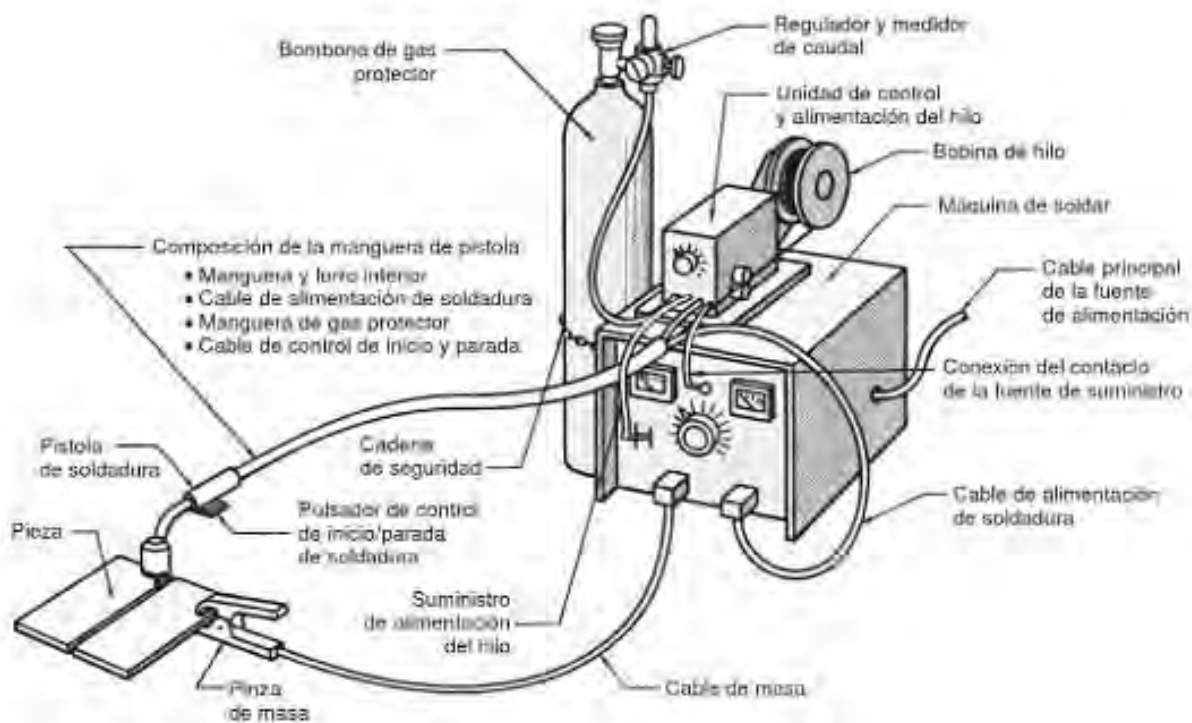


**Figura 2.2-1: Proceso de soldadura GMAW<sup>5</sup>**

En cuanto al equipo empleado para la realización de ésta soldadura, el cual se observa en la Figura 2.2-2, es más complejo que el requerido para la soldadura GTAW, como se puede observar, en términos generales posee los mismos elementos: una fuente, una pinza a tierra, la antorcha de soldadura y un cilindro con gas protector, pero además de esto también requiere de una unidad que dispense el hilo dado que este se consume, además de que la pistola posee un tipo de gatillo, el cual se presiona para activar la alimentación del electrodo a la antorcha.

<sup>5</sup> Fuente: <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/PDF/cap-43.pdf>









**Figura 2.2-2: Equipo de soldadura GMAW<sup>6</sup>**

### 2.3 Soldadura Orbital

Con el objetivo de comprender a profundidad posibles requerimientos o limitaciones del vehículo que se desea proponer, se tiene la necesidad de conocer acerca de máquinas de soldadura orbital, las cuales se presentan en ambos tipos de soldadura y se pueden observar algunos exponentes a continuación:

<sup>6</sup> Fuente: Rowe y Jeffus, *Manual de soldadura GMAW (MIG-MAG)*, figura 1.6-4

**Tabla 2.3-1: Comparación de Máquinas de Soldadura Orbital**

 <p><b>Figura 2.3-1: PipeKAT<sup>7</sup></b></p>	<p>Nombre: PipeKAT          Fabricante: GULLCO          Mecanismo de traslación: Mecanismo Piñón-Cremallera          Tipos de soldadura: GMAW y GTAW          Diámetros de tubos admisibles: Entre 1.35” y 44.2”          Peso: 44.6 kg</p>
 <p><b>Figura 2.3-2: T Head 419<sup>8</sup></b></p>	<p>Nombre: T Head 419          Fabricante: MAGNATECH          Mecanismo de traslación: Mediante rieles y ruedas en una pista flexible          Tipos de soldadura: GTAW          Diámetros de tubos admisibles: Entre 6” y 60”          Peso: 11.8 kg</p>
 <p><b>Figura 2.3-3: Pipeliner II 609<sup>9</sup></b></p>	<p>Nombre: Pipeliner II 609          Fabricante: MAGNATECH          Mecanismo de traslación: Mediante rieles y ruedas en una pista flexible          Tipos de soldadura: GMAW          Diámetros de tubos admisibles: Entre 6” y 60”          Peso: 11.6 kg</p>
 <p><b>Figura 2.3-4: Model 15<sup>10</sup></b></p>	<p>Nombre: Model 15          Fabricante: Arc Machines Inc.          Mecanismo de traslación: Mediante ruedas en un riel rígido          Tipos de soldadura: GTAW          Diámetros de tubos admisibles: Desde 3”          Peso: 8 kg</p>
 <p><b>Figura 2.3-5: AdaptARC<sup>11</sup></b></p>	<p>Nombre: AdaptARC          Fabricante: TRI TOOL          Mecanismo de traslación: Mediante ruedas en un riel          Tipos de soldadura: GTAW          Diámetros de tubos admisibles: Desde 2”          Peso: 43.1 kg</p>

Con el fin de comprender de forma más precisa el funcionamiento en general de las máquinas de soldadura orbital, se realiza a continuación un análisis de los componentes presentes en una máquina de soldadura orbital, los cuales se pueden apreciar también en la Figura 2.3-6.

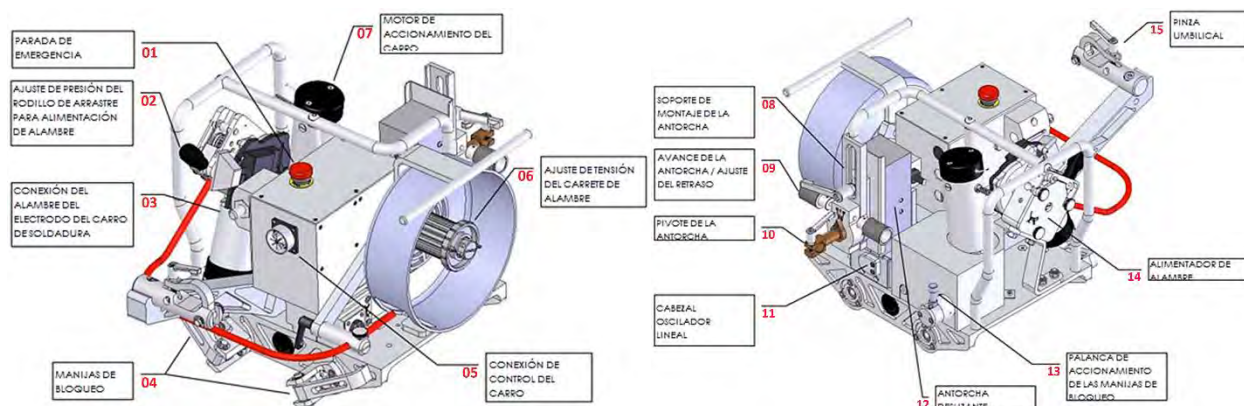
<sup>7</sup> Fuente: GULLCO

<sup>8</sup> Fuente: MAGNATECH

<sup>9</sup> Fuente: MAGNATECH

<sup>10</sup> Fuente: Arc Machines Inc.

<sup>11</sup> Fuente: TRI TOOL

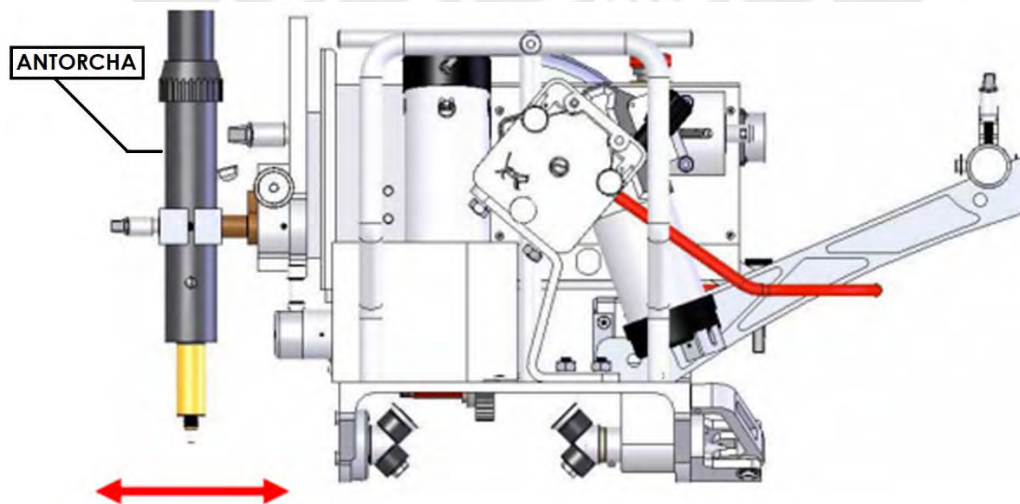


**Figura 2.3-6: Partes de una máquina de soldadura orbital<sup>12</sup>**

- 1) Parada de emergencia: es un botón que tiene la capacidad de detener todas las operaciones del carro en caso de emergencia. Se suelen tener 2 botones de emergencia, uno en el control y otro en el carro.
- 2) Ajuste de presión del rodillo de arrastre para alimentación de alambre.
- 3) Conexión del alambre del electrodo del carro de soldadura.
- 4) Manijas de bloqueo: son las responsables de la fijación del carro de soldadura en los rieles para poderse desplazar en la circunferencia.
- 5) Conexión de control de movimiento del carro.
- 6) Ajuste de tensión del carrete de alambre: Le permite al operador ajustar o mantener la tensión del alambre que se dispensa desde el carrete.
- 7) Motor de accionamiento del carro: es el que le da la capacidad de movimiento al carro de soldadura para girar alrededor del ducto.
- 8) Soporte de montaje de la antorcha: este soporte junta a la antorcha al mecanismo de antorcha deslizante.

<sup>12</sup> Fuente: GULLCO, 2013

- 9) Avance de la antorcha / ajuste de retraso: permite ajustar el ángulo en el que se encuentra la antorcha de soldadura.
- 10) Pivote de la antorcha: El punto a partir del cual la antorcha puede rotar.
- 11) Cabezal oscilador lineal: le brinda a la antorcha la capacidad de moverse linealmente en la dirección axial del ducto según sea programado, como se puede apreciar en la Figura 2.3-7.
- 12) Antorcha deslizante: le brinda a la antorcha la capacidad de moverse en dirección radial del ducto.
- 13) Palanca de accionamiento de las manijas de bloqueo: permite que el carro se suelte o fije en el riel de desplazamiento.
- 14) Alimentador de alambre: es el dispositivo que dispensa el alambre por medio de un par de rodillos.
- 15) Pinza umbilical: evita que los conectores sufran esfuerzos y se dañen por esto.

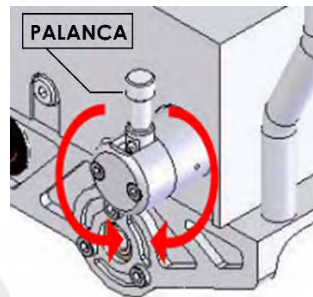


**Figura 2.3-7: Oscilación lineal de la antorcha<sup>13</sup>**

<sup>13</sup> Fuente: GULLCO, 2013

Las máquinas orbitales los mecanismos que se usan para el agarre son variados, pero en el caso mostrado se emplea llantas para la fijación en el riel, las cuales generan presión al activar la palanca mostrada en la

Figura 2.3-8, la cual sobresale de un lado del carro de soldadura.



**Figura 2.3-8: Palanca de accionamiento de las manijas de bloqueo<sup>14</sup>**

---

<sup>14</sup> Fuente: GULLCO, 2013



## CAPÍTULO 3

### ESTADO DEL ARTE

Para desarrollar el estado del arte, se realiza una investigación y presentación de las tecnologías presentes en la actualidad, además de los conceptos que conciernen al proyecto, de modo que puedan ser útiles tanto para la realización del diseño.

#### 3.1 Soluciones Comerciales de Vehículos Móviles

Existe un grupo de vehículos llamados UGV (*Unmanned Ground Vehicle*, que traducido significa Vehículo Terrestre No Tripulado) que son un buen punto de partida, dado que también son vehículos autónomos pensados para moverse en caminos accidentados.

- THeMIS (Fabricante: MILREM ROBOTICS):

Es un vehículo con fines militares, con una plataforma central pensada en modularidad para que este invento pueda ser multipropósito, desde el transporte de equipo, detección de bombas y apoyo en desactivación de estas hasta la manipulación de armas. Esta empresa también cuenta con una línea similar de vehículos para el rescate y apoyo en desastres llamada “Multiscope”. Tiene un peso de 1630 kg y una capacidad de carga de 750 kg.

Puede desplazarse de forma correcta en pendientes con una inclinación de 60° y con inclinación lateral máxima de 30°. Su forma de alimentación es híbrida con una duración máxima de 15 horas



en modo híbrido, cuenta con cámaras infrarrojas, térmicas, además de sensores LIDAR (que son sensores láser de precisión). Se comunica con el operador mediante ondas de radio de 2.4Ghz, aunque también puede ser programado un modo autónomo (MILREM ROBOTICS).



**Figura 3.1-1: THeMIS<sup>15</sup>**

- Security Robot S7.2 (Fabricante: SMP ROBOTICS):

Este vehículo tiene como fin el patrullaje de una zona específica, ya sea un área restringida para pasar o en el caso específico del modelo S7.2, vigilar tubos de aceite y detectar sus fallas. Para ello usa cámaras para la detección de obstáculos y fugas en los ductos, por medio de un sistema de visión que integra inteligencia artificial. Posee avisos sonoros para la interacción con humanos, para hacer notar su presencia y evitar accidentes, tiene una autonomía de 20 horas y posee un grado de protección IP 65, contra agua y polvo (SMP ROBOTICS).



**Figura 3.1-2: Security Robot S7.2<sup>16</sup>**

---

<sup>15</sup> Fuente: MILREM ROBOTICS

<sup>16</sup> Fuente: SMP ROBOTICS

- Kobra (Fabricante: FLIR):

Diseñado con fines militares, es un vehículo tele operado por medio de ondas de radio, gracias a su innovador sistema de movimiento, el cual usa dos orugas en conjunto, una con la capacidad de rotar y la otra estática, puede reducir su tamaño para ser almacenado, además de que el movimiento independiente le permite transitar en zonas más escarpadas, que de otro modo terminarían volcando a otro vehículo. Además, a pesar de su tamaño compacto, tiene la capacidad de levantar 150 kg de carga, cuando el vehículo sólo pesa 220 kg (FLIR).



**Figura 3.1-3: Kobra<sup>17</sup>**

Como se puede observar ninguno de los sistemas, abarca las funciones que se buscan para la aplicación de este proyecto, pero brindan un marco general de los subsistemas que se deben implementar, tales como el sistema de movimiento, navegación, detección de obstáculos, entre otros, los cuales serán tratados a continuación.

### 3.2 Subsistemas del Vehículo

Se decide subdividir el sistema en las partes que lo conforman, iniciando con el subsistema centrada en su capacidad de movimiento en el terreno al que se verá sometido, seguido de los

---

<sup>17</sup> Fuente: FLIR

subsistemas de elevación de la máquina de soldadura orbital, la forma en la que puede navegar de forma autónoma, evitando obstáculos además de las maneras en las que puede reconocer las zonas de los tubos en donde se requiere de acoplamiento de la máquina de soldadura y por último, las formas en las que interactuará con el operario.

### **3.2.1 Soluciones para la traslación del vehículo.**

Considerando que el vehículo se movilizará en terreno desigual, es un factor importante para garantizar que no sufra de complicaciones para su traslado, como se pudo apreciar del inciso de “Sistemas que cubren parcialmente las necesidades”, las soluciones, son variadas, por lo que se realiza una breve descripción de las soluciones halladas a continuación.

#### **• Vehículo todo terreno**

Se plantea en el “All terrain vehicle” con número de patente de EEUU N°3809004A, un vehículo con ruedas con suspensión independiente y que se puede ajustar dependiendo del terreno en el que opera. Esto significa que el movimiento de las ruedas de los dos lados es independiente y además se controla la velocidad de cada una de las ruedas, con el fin de que gire en la dirección deseada. Además, con la suspensión independiente se busca que las ruedas tengan contacto con la superficie de traslado en todo momento, como se observa en la Figura 3.2-1, esto se logra mediante la posición de brazos con la capacidad de pivotar en cada lado, además de poseer potencia en cada uno de las ruedas gracias a un sistema de transmisión, en este caso un sistema de piñón y cadena. Con respecto a la adaptabilidad del sistema al terreno, se logra mediante el movimiento de los resortes en la suspensión, para aumentar la resistencia que estos oponen (Leonheart, 1972).

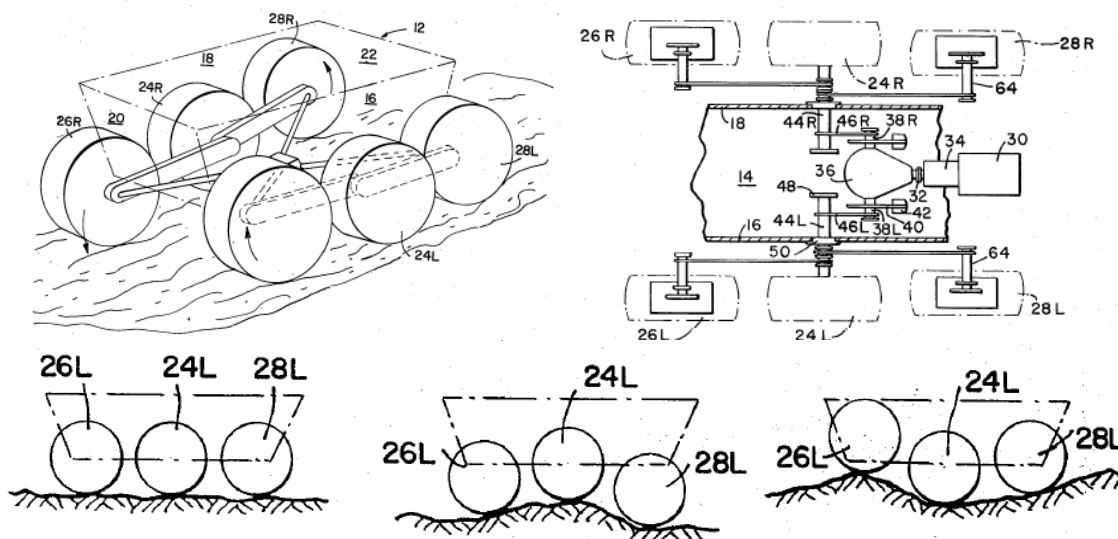


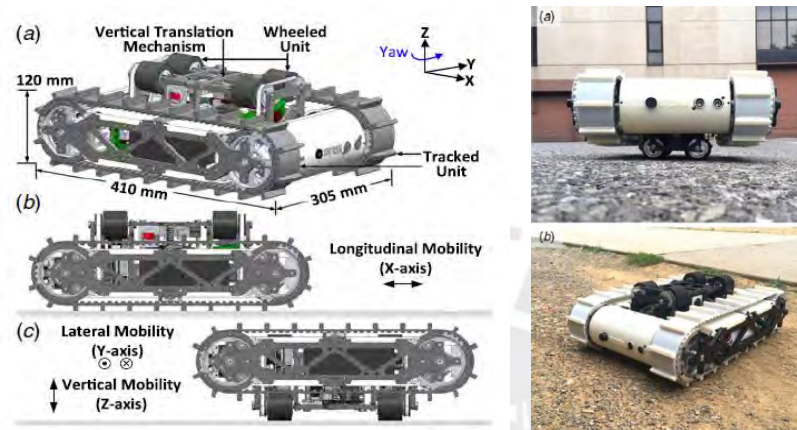
Figura 3.2-1: All terrain vehicle<sup>18</sup>

• **Robot móvil multidireccional híbrido con orugas y ruedas**

Se presenta un diseño del “*hybrid tracked-wheeled multi-directional mobile robot*” que tiene capacidades de movilidad híbridas, en una combinación de sistema de orugas y sistema de ruedas, independientes uno del otro, estos dos sistemas se encuentran posicionados ortogonalmente en el vehículo y son intercambiables mediante un mecanismo. Esta posibilidad de selección de sistemas de locomoción contrasta con lo que comúnmente se hace que es simplemente seleccionar uno de los dos sistemas de movimiento, teniendo buen desempeño en su respectivo ambiente ideal, como sería un camino irregular para un sistema de orugas, pero un desempeño pobre en otros ambientes para los que no fue diseñado, como sería un suelo liso, en el cual destacaría el sistema de ruedas, el cual es más veloz y más eficiente. O en otro caso hacer una combinación de dos sistemas de locomoción, en cuyo caso, nunca se logra un desempeño tan bueno como lo lograría el sistema sin combinar dos tipos de locomoción. Por esto es que se plantea un sistema en el cual se puede

<sup>18</sup> Fuente: Patente EEUU N°3809004A

intercambiar entre ambos sistemas para que sean usados en el momento requerido, además de brindar la capacidad de moverse en varias direcciones por su posicionamiento perpendicular. Por último, brinda una la capacidad de darle una opción de movimiento al vehículo en caso de haberse volteado (Ben-Tzvi y Saab, 2019).



**Figura 3.2-2: A Hybrid Tracked-Wheeled Multi-Directional Mobile Robot<sup>19</sup>**

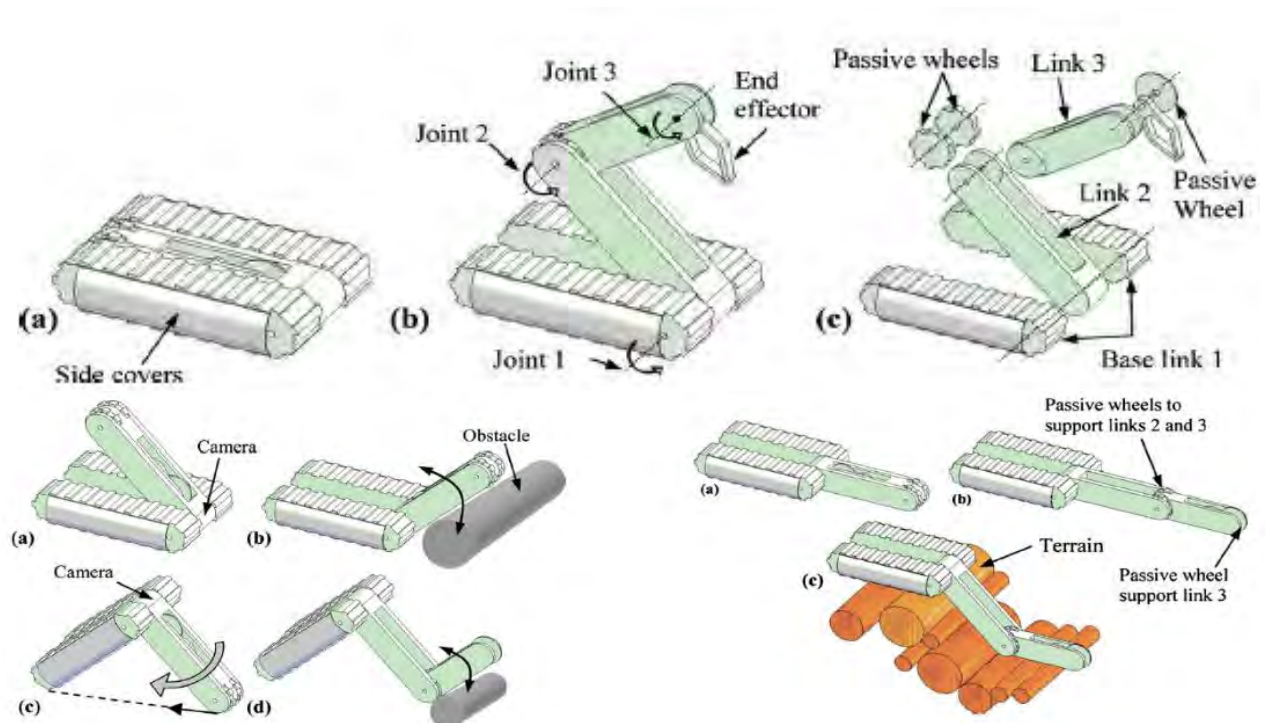
• **Diseño y análisis de un mecanismo híbrido de movilidad de un robot con capacidades compuestas de locomoción y manipulación**

Como la forma de implementar un brazo robótico sobre una plataforma de transporte es limitado en algunos casos debido a que el rango de movimiento del brazo se encuentra limitado por el chasis del vehículo, se plantea mediante el trabajo de investigación de “*Design and analysis of a hybrid mobile robot mechanism with compounded locomotion and manipulation capability*”, un híbrido de una parte de locomoción, en la que en este caso se emplea un sistema de orugas y un brazo manipulador que se almacena en paralelo al sistema de traslación, de modo que cuando no es requerida, puede almacenarse dentro del chasis del vehículo, evitando obstaculizar en el

<sup>19</sup> Fuente: Ben-Tzvi y Saab, 2019. “*A Hybrid Tracked-Wheeled Multi-Directional Mobile Robot*”



movimiento de este. Además, el brazo está pensado con dos funcionalidades, una de ellas, ayudar con la movilidad del robot en caso que se encuentre en una posición desfavorable, como en el caso de una volcadura o como apoyo para mejorar la tracción del vehículo, como se puede apreciar en Figura 3.2-3. Su segundo propósito es el de manipulación, del cual puede participar si es requerido, sólo saliendo de su almacenamiento y cumpliendo la función que le corresponda (Ben-Tzvi, Goldenberg y Zu, 2008).



**Figura 3.2-3: *Design and Analysis of a Hybrid Mobile Robot Mechanism with Compounded Locomotion and Manipulation Capability***<sup>20</sup>

<sup>20</sup> Fuente: Ben-Tzvi, Goldenberg y Zu, 2008. “*Design and Analysis of a Hybrid Mobile Robot Mechanism with Compounded Locomotion and Manipulation Capability*”



### 3.2.2 Soluciones para la plataforma de elevación.

La plataforma de elevación debe contemplar que la máquina de soldadura orbital pueda elevarse y además poder inclinarse en ciertos ángulos para facilitar un acoplamiento paralelo de la máquina de soldadura orbital al ducto.

#### • Mecanismo de un Volquete

En la patente EEUU N° 2226213<sup>a</sup> con el nombre “*dump truck mechanism*” se tiene un mecanismo que cumple la función de elevar e inclinar la tolva de un camión, mediante el uso de un pistón hidráulico el cual es accionado mediante una palanca dentro de la cabina del conductor (número 37 en la Figura 3.2-4). El funcionamiento del mecanismo se fundamenta en la elongación del pistón, cuyo final se encuentra conectado a un punto fijo de la tolva con capacidad de pivotar y el otro punto del pistón se encuentra fijo en el camión, pero es capaz de rotar, de este modo dependiendo de la longitud de elongación del actuador la tolva se inclina en un ángulo diferente, el objetivo del mecanismo en la patente es inclinar un plano deseado (Wood, 1940).

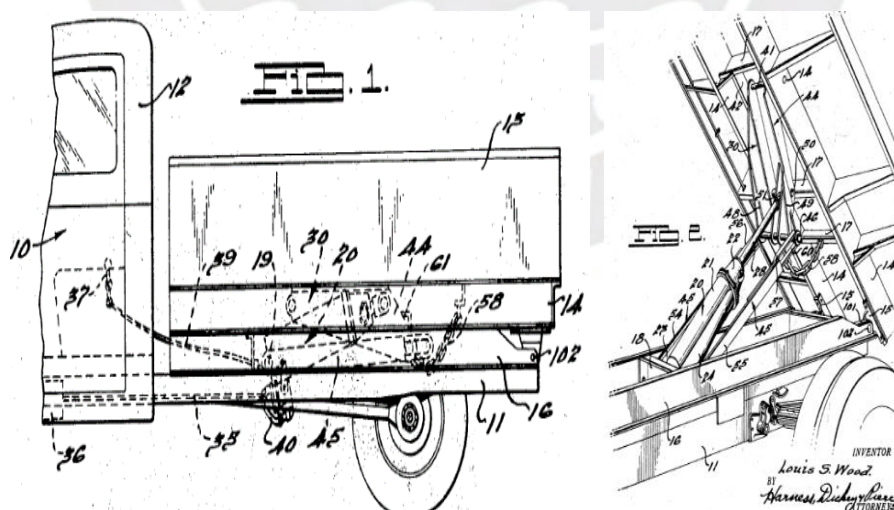


Figura 3.2-4: Dump truck mechanism<sup>21</sup>

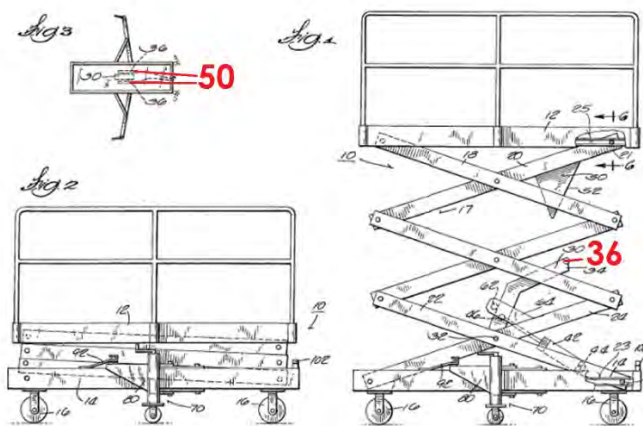
<sup>21</sup> Fuente: Patente EEUU N° 2226213A

### • Plataforma de Elevación de Tijera

En la invención de patente EEUU N°4114854A de nombre “*scissors lift work platform*” se presenta una plataforma de elevación de uniones en tijera, llamado así por los cruces que se generan en las barras que forman la estructura que eleva la plataforma. Se agrega como característica especial a esta patente, un control en la velocidad de elevación de modo que su movimiento sea uniforme y constante.

La forma en la que plantea la solución es mediante el uso de un solo pistón conectado a un elemento que rota, el cual se une a las uniones en tijera de forma pivotada, el objetivo de este brazo rotatorio es que se genere la elevación de la plataforma en dos fases, en la primera, se eleva la parte superior del arreglo en tijera al interactuar con la placa triangular de la parte superior con el rodaje del brazo rotatorio (en la

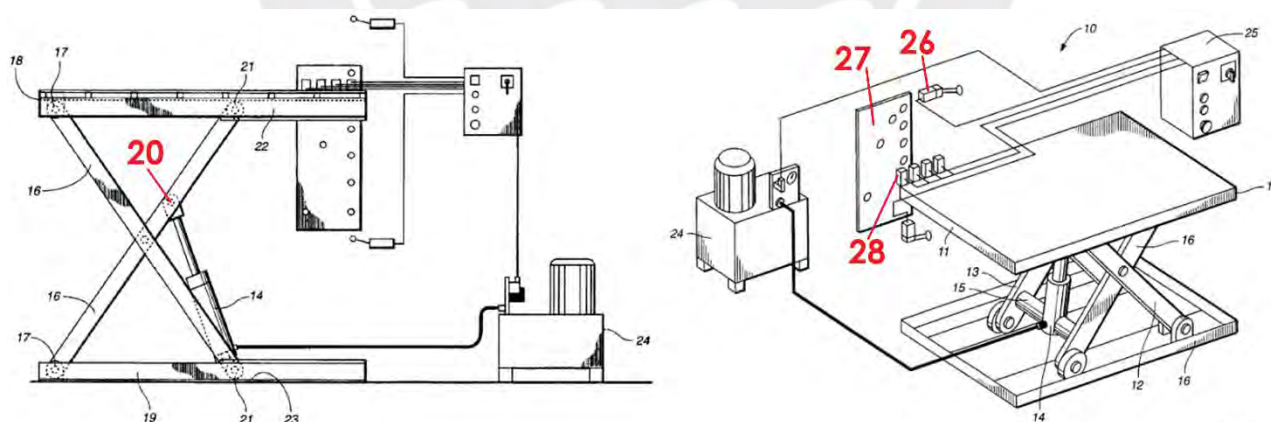
Figura 3.2-5 se aprecia que los elementos son el número 50 y el número 36, en orden). Luego de esta primera elevación, si se requiere de mayor elevación de la plataforma, la segunda fase toma lugar, en la cual el brazo rotatorio ahora interactúa con un elemento fijado de modo que también se mueve la parte inferior del arreglo en tijera, terminando de elevar completamente la plataforma (Clark, 1978).



**Figura 3.2-5: Scissors Work Lift Platform<sup>22</sup>**

• **Plataforma de Elevación en Tijera con Control Electrónico**

En la patente EEUU N°5695173A de nombre “*scissors lift platform with electronic control*”, a diferencia de las otras patentes relacionadas con plataformas de elevación con soporte de elementos en un arreglo de tijera, posee un sistema electrónico que controla el sistema hidráulico para controlar el movimiento de elevación de la plataforma y la altura deseada mediante el uso de limit switches, sensores ópticos y elementos reflejantes (en la Figura 3.2-6 se observan en los números 26, 28 y 27 respectivamente). El sistema es accionado únicamente por un actuador hidráulico, el cual se conecta a ambos pares de tijeras mediante una barra conectada en el punto 20 que se puede observar en la Figura 3.2-6, además dos de las barras son libres de moverse a lo largo de un riel en el plano inferior del sistema dado que tienen ruedas en ellas. Otra de las ventajas en las que el autor pone énfasis es en la simpleza de movimiento del sistema, dado que no se usa un sistema de arreglo en tijeras complejo, sino que sólo se usan dos pares de barras, el mantenimiento del sistema es mucho más sencillo (Ochoa y Uribe, 1996).



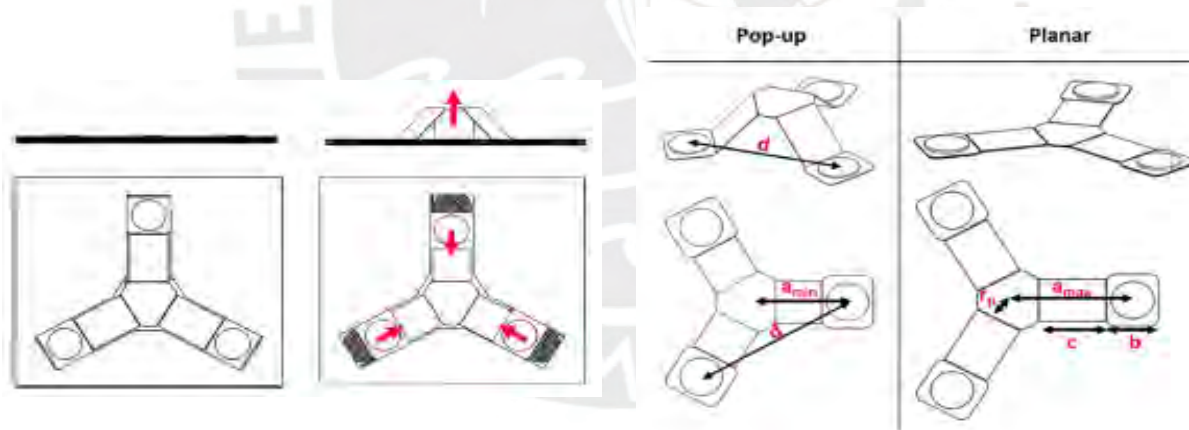
**Figura 3.2-6: Scissors Lift Platform with Electronic Control<sup>23</sup>**

<sup>22</sup> Fuente: Patente EEUU N°4114854A

<sup>23</sup> Fuente: Patente EEUU N°5695173A

• **Diseño y Modelado de un Actuador Electromagnético de Bajo Perfil Para una Plataforma Paralela de Origami (“A Low Profile Electromagnetic Actuator Design and Model for an Origami Parallel Platform”)**

Se presenta una perspectiva distinta para el desarrollo de una plataforma de elevación, dentro de lo que busca es el desarrollo de un mecanismo que sea más amigable y adaptable a los robots orientados a la interacción con humanos de modo que sea más seguro que el uso con los actuadores y mecanismos tradicionales. Para esto, el mecanismo es inspirado en el origami, de forma que le brinde estabilidad al mecanismo, bajo peso y portabilidad, dado que puede pasar de una forma casi bidimensional a una tridimensional. Para el sistema de accionamiento se usó magnetismo, empleando imanes y bobinas planas, las cuales hacen que el imán deslice en el riel cuando se energizan para generar el movimiento lineal que se busca en cada una de las tres patas del diseño mostrado en la Figura 3.2-7 (Salerno, 2017).



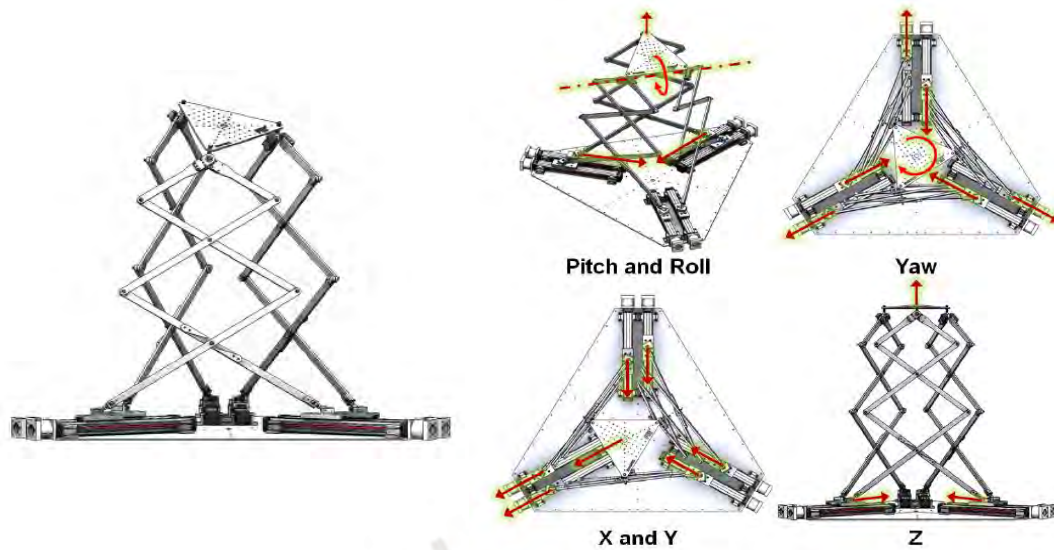
**Figura 3.2-7: A Low Profile Electromagnetic Actuator Design and Model for an Origami Parallel Platform<sup>24</sup>**

<sup>24</sup> Fuente: Salerno, 2017. “A Low Profile Electromagnetic Actuator Design and Model for an Origami Parallel Platform”

• **Extensor de Triple Mecanismo de Tijera: Un Robot Para la Elevación y Posicionado de 6 Grados de Libertad (“Triple Scissor Extender: A 6-DOF lifting and positioning robot”)**

En esta investigación se presenta un mecanismo más complejo de entre todos los vistos anteriormente, pero el más versátil en lo que respecta a la variedad de movimiento del plano superior, dado que éste se puede trasladar a posiciones y en orientaciones arbitrarias dependiendo del movimiento coordinado de los 6 actuadores que están conectados a la base de cada uno de los elementos de el mecanismo de tijera. Se usan tres mecanismos de elevación de tijera combinados con el fin de lograr un movimiento tridimensional en la placa triangular superior, la cual se conecta a estos mecanismos mediante tres rótulas. A pesar de ser un movimiento tan complejo, este sistema sigue teniendo la capacidad de compactarse cuando el mecanismo se encuentra contraído, teniendo un quinto de su altura en la máxima extensión. En términos generales, la forma en la que se realiza el movimiento de la placa superior es mediante la superposición coordinada de 3 modos de movimiento, el primero es la traslación vertical, para esto, se deben mover todos los actuadores hacia la parte interna en simultáneo, el segundo es la rotación del plano superior (“*yaw motion*”), se logra alternando la dirección de movimiento de los actuadores, por último el movimiento traslacional se logra mediante el movimiento de un par de los actuadores próximos hacia afuera, mientras que se mueven los otros 2 pares de actuadores hacia la parte interna. Se puede apreciar de forma gráfica los dos últimos modos de movimiento en la Figura 3.2-8, la imagen “Yaw” es correspondiente para el giro y la imagen “X and Y” para la traslación. (Gonzalez, 2016)





**Figura 3.2-8: Triple Scissor Extender: A 6-DOF lifting and positioning robot<sup>25</sup>**

### 3.2.3 Soluciones para la navegación autónoma del vehículo.

Se busca que el vehículo pueda poseer autonomía para trasladarse en el terreno sin colisionar con objetos o personas, además de lograr llegar a su destino de forma precisa, por lo que se realiza una investigación de sistemas que permitan que este navegue de forma eficiente y confiable.

- **Vehículo robótico: autónomo y tele operado con una PDA:**

El autor plantea el funcionamiento de un vehículo que puede ser operado a distancia o tener funcionamiento autónomo, para lo cual usa como control un PDA (el cual es una computadora portátil de bolsillo), con el cual el operario puede alternar entre el modo automático y el manual. Aborda tanto el tema de evitar obstáculos como el de navegación autónoma. Concerniente a la navegación autónoma, se hace uso de un sistema redundante de dos GPS con antenas posicionadas ortogonalmente, con el fin de que uno de los satélites tenga mejor recepción de la señal y que se

<sup>25</sup> Fuente: Gonzalez, 2016. “Triple Scissor Extender: A 6-DOF lifting and positioning robot”



complementen entre ambos, el autor comprueba que esta configuración funciona y es robusta, teniendo un error de  $\pm 2.5$  metros. Así mismo se usan 2 sensores complementarios para determinar la posición del vehículo, un encoder óptico, para poder medir la velocidad y así estimar el desplazamiento realizado, además de un compás electrónico, con el cual se determina la orientación del vehículo mediante magnetómetros. El autor propone que se puede reemplazar este arreglo de sensores mediante un IMU (Unidad de Masa Inercial), el cuál puede realizar ambas funciones: la medición de velocidad y la medición de la orientación.

Respecto al manejo de los obstáculos usa un sensor ultrasónico, el cual en caso de detectar un eco a menos de 0.3m de proximidad, el vehículo se detiene hasta que el objeto desaparezca de la trayectoria (Villa-Medina, Gutiérrez y Porta-Gándar, 2009).

- **UGV (Vehículo Terrestre No Tripulado) Método de Navegación Usando GPS y Brújula (“UGV (Unmanned Ground Vehicle) Navigation Method using GPS and Compass”)**

El autor intenta realizar el uso de un compás magnético y un GPS para encargarse del movimiento autónomo del vehículo, para esto se define que la brújula está dada con el fin de conocer el ángulo en el cual se encuentra el vehículo, mientras que la siguiente posición hacia donde se tiene que mover viene dado por el GPS. Al final, se concluye mediante sus pruebas que si bien el vehículo se direccionaba correctamente hacia el punto deseado, el GPS por sí mismo tenía problemas de estabilidad de señal y de precisión, por lo que señala que sería preferible para mejorar la navegación autónoma del vehículo, el uso de un INS (sistema de navegación inercial), con el cual se mediría la aceleración, la rotación, la velocidad del vehículo y en caso que los errores se acumulasen, el GPS le brinda información para corregirlos (Yoon, Park y Kim, 2006).

## CAPÍTULO 4

### MARCO CONCEPTUAL

#### 4.1 Sistemas para la Identificación de Objetivos

Para complementar la navegación del vehículo por el terreno se puede usar del apoyo de la visión por computadora, el cual brinda datos sobre el entorno tales como la detección de obstáculos y la localización de las bridas que unen los ductos que requieren de soldadura, para que el vehículo se pueda aproximar con precisión para proceder a la colocación de la máquina de soldadura orbital. Para el uso de la visión por computadora, se requiere de una cámara, la cual tenga la capacidad de brindar la información necesaria para el procesamiento de las imágenes, de modo que no se pierdan datos por las limitaciones del sensor de la cámara y que sea posible lograr el objetivo planteado. Entre otras cosas, la selección de la cámara depende de los objetos que se desean analizar, la velocidad necesaria, la temperatura, la iluminación y el costo del sistema (Fell, 2017).

**Tabla 4.1-1: Comparación de cámaras**

Tipo	Cámara USB	Cámara con interfaz Gigabit Ethernet	Cámara FireWire	Cámara con interfaz Camera Link®
Imagen	 Figura 4.1-1: FLIR Backfly S <sup>26</sup>	 Figura 4.1-2: Lucid Vision Labs Atlas <sup>27</sup>	 Figura 4.1-3: Allied Vision Guppy FireWire <sup>28</sup>	 Figura 4.1-4: JAI Camera Link <sup>29</sup>
Tipo de Conexión	USB	Gigabit Ethernet	FireWire	Camera Link®
Velocidad de transferencia de datos	480Mb/s – 5Gb/s	1000Mb/s	FireWire A: 400Mb/s FireWire B: 800Mb/s	3.6Gb/s
Características especiales	Tiene una rápida instalación	-Se puede emplear un número indefinido de dispositivos -No requiere de una fuente externa de alimentación	FireWire A: extensión máxima de 4.5m FireWire B: extensión máxima de 100m	Tienen una resolución alta

## 4.2 Procesamiento de Imágenes:

Para la detección de los lugares que necesitan de soldadura, primero es conveniente hablar de la disciplina en la que se fundamenta su lógica, esta es llamada “Visión por Computadora” pero también es conocida como “Visión Artificial”. Esta disciplina procura interpretar por medio de algoritmos lo que sucede en un escenario tridimensional mediante imágenes en escala de grises o a color que son captadas por una o varias cámaras y que son convertidas a un arreglo matricial de bits los cuales poseen la información de la imagen. Con esto se trata emular la forma en la que un humano analizaría su entorno, con la diferencia de que el sistema de visión humano es mucho más eficiente para adaptarse a características adversas del entorno, tales como la falta de iluminación

<sup>26</sup> Fuente: EDMUNDOPTICS

<sup>27</sup> Fuente: EDMUNDOPTICS

<sup>28</sup> Fuente: EDMUNDOPTICS

<sup>29</sup> Fuente: EDMUNDOPTICS

y situaciones imprevistas, mientras que la visión por computadora es más eficiente para medir magnitudes físicas y realizar tareas repetitivas de forma consistente y precisa (Sánchez, 2002).

Entonces, de esta definición se observa que, para poder procesar una imagen, primero se debe reconocer las características que se desean analizar, en este caso aplicado a los ductos, se conoce que los ductos tienen un espacio de separación pequeño en las uniones entre dos tubos distintos además de que en cada una de las uniones se realizan juntas provisionales con bridas, las cuales también pueden servir para reconocer la posición.

- **Algoritmo de detección de bordes:**

Es un algoritmo el cual se basa su funcionamiento en la comparación entre cada pixel y los pixeles adyacentes para encontrar una variación alta de colores entre ellos, en caso de encontrarla, el algoritmo reconoce esa posición como un posible borde, lo cual traduce ése pixel como un pixel blanco en una imagen nueva, terminada la repetición del análisis con todos los pixeles, se crea una imagen principalmente negra con unas líneas blancas las cuales definen los bordes, como se puede apreciar en la Figura 4.2-1.



**Figura 4.1-1: Imagen Original y la Imagen Procesada con los Bordes<sup>30</sup>**

---

<sup>30</sup> Fuente: Cajas y Esteban, 2014

Este método es efectivo, pero se puede apreciar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que se recoge ruido (que son los puntos blancos que se observan en la imagen negra) y este puede dificultar el procesamiento, por lo que se puede optar por usar el algoritmo de reconocimiento de bordes en conjunto con otros dos algoritmos, de modo que sólo se obtenga la información que se desee.

- **Detección de regiones de interés:**

La forma en la que funciona el algoritmo es mediante la separación de distintas regiones de interés mediante el uso de “umbrales”, que es un tipo de segmentación en la cual usuario define un nivel de luminosidad a partir del cual se convierten los lugares de luminosidad baja a color negro, que corresponde al valor 0 en la imagen resultante y los lugares de luminosidad alta se les asigna el valor de 255 que en la imagen resultante corresponde al color blanco. Como se puede apreciar en la Figura 4.1-2, se escoge un umbral, con lo que se filtra casi toda la información que no es la placa, la cual es el objeto que se estudia.



**Figura 4.1-2: Umbralización de la imagen analizada<sup>31</sup>**

<sup>31</sup> Fuente: Cajas y Esteban, 2014

### 4.3 Soluciones Para El Control A Distancia

Por último, con el fin de poder controlar a distancia o recibir información en tiempo real del estado del vehículo, con el fin de poder controlar acciones específicas del robot o poder controlarlo en caso de emergencias. Ya sea en caso de alguna de estas funciones, la capacidad de dar órdenes a cualquier tipo de vehículo autónomo es fundamental, dado que puede estar involucrado en interacciones peligrosas con humanos y la posibilidad de tomar control manual puede solucionar estas complicaciones fácilmente, como en el caso en el que los sensores de seguridad fallasen o en caso de que el vehículo se encuentre bloqueado por objetos, de modo que el operador pueda resolver el problema por su cuenta.

Se tiene 3 exponentes principales en este rubro, Bluetooth, Wi-Fi y conexión mediante redes telefónicas. En este inciso se busca analizar las ventajas y desventajas de cada uno de ellos para luego poder seleccionar el apropiado, dependiendo de los requerimientos de rango de funcionamiento y velocidad de transferencia de datos buscada.

- **Bluetooth:**

Tecnología desarrollada con el fin de eliminar los cables en las oficinas, al conectar los dispositivos mediante radiofrecuencia de 2.4GHz de corto alcance, con un alcance máximo de 10 metros, el cual puede disminuir dependiendo de la cantidad de obstáculos que bloqueen la señal entre el emisor y el receptor, además que posee una velocidad de envío de datos bajo, de aproximadamente 1.5Mb/s. Dentro de sus ventajas, se encuentra el bajo consumo de energía del sistema y el bajo costo, además que es un tipo de comunicación que actualmente se encuentra integrado en muchos de los dispositivos electrónicos que nos rodean, brindándole flexibilidad al operario sobre el dispositivo a usar para la manipulación.





Figura 4.3-1: Cómo Funciona el Bluetooth<sup>32</sup>

- **Wi-Fi**

Es un tipo de red inalámbrica que se comunica mediante la banda de radiofrecuencia de 2.4GHz, esta comunicación usa un dispositivo que se conecta a internet mediante Wi-Fi y el robot se encuentra conectado a la misma red y es posible acceder a él mediante de un punto de acceso que este brinda, de modo que el operario puede enviarle ordenes o recibir información. Este método de comunicación posee la ventaja de una distancia de funcionamiento máxima de 50m, además de una velocidad de transferencia de datos máxima de 54Mb/s, superando al Bluetooth en ambos aspectos.



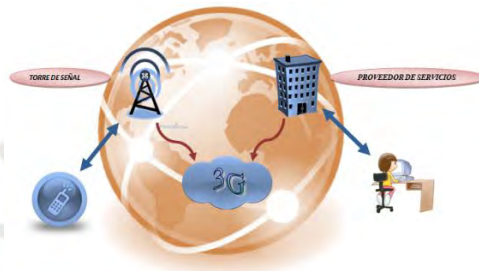
Figura 4.3-2: Cómo funciona el WiFi<sup>33</sup>

<sup>32</sup> Fuente: <https://www.northps.com/wp-content/uploads/2017/10/Bluetooth-Technology-Works.jpg>

<sup>33</sup> Fuente: <https://www.oi.com.br/ArquivosEstaticos/oi/images/ComoFuncionaVeloxWiFi.gif>

- **Tecnología de Red de Telefonía Móvil - 3G**

Se basa en el uso de los servicios de telefonía para comunicarse en tiempo real con el robot, el cual también se encuentra conectado a la red 3G, de este modo al emplear las redes de comunicación de telefonía, las limitaciones de distancias, básicamente desaparecen, por lo que es ideal para monitoreo de sistemas desde larga distancia, su velocidad de transmisión de datos máxima es de 2Mb/s (Kahar, Sulaiman, Prabuwo, Ahmad, Ashri y Hassan, 2012).



**Figura 4.3-3: Cómo funciona el 3G<sup>34</sup>**

#### 4.4 Sistemas para Control de Procesos

Con el fin de poder automatizar el proceso a realizar por el vehículo se requiere de un método que permita controlar el comportamiento del sistema de modo que realice la función que se espera. Actualmente se emplean con este propósito principalmente dos dispositivos: computadora embebida especializada en el procesamiento de imágenes, usada especialmente en aplicaciones de procesamiento de imágenes y microcontroladores, los cuales se componen de un microprocesador, variadores de voltaje, memoria y otros periféricos con el fin de controlar los dispositivos requeridos.

<sup>34</sup>Fuente:<https://2.bp.blogspot.com/-OTgZiPZIFeQ/T5DT5kHzANI/AAAAAAAAALY/G3xDKotFlgA/s1600/3g+funcionamiento.png>

- **Microcontrolador:**

Se emplean ampliamente en la actualidad, llegándose a producir billones por año. Se encuentran en una amplia gama de aplicaciones. Y en esencia un microcontrolador es un procesador equipado con memoria, un oscilador de cristal que actúa como reloj del sistema, puertos para la entrada y salida de datos y otros periféricos integrados. Entre sus ventajas se puede destacar es su pequeño tamaño, bajo consumo energético, bajo costo y su versatilidad para distintos propósitos. Pero como desventajas se tiene un tiempo de respuesta lento, además del requisito del conocimiento de un lenguaje de programación que requiere de considerable experiencia (Gridling y Weiss, 2007), en la Figura 4.4-1 se puede observar un ejemplo de microcontrolador de la marca Arduino.



*Figura 4.4-1: Microcontrolador Genuino UNO de Arduino<sup>35</sup>*

- **Ordenador de placa reducida (SBC):**

También llamados computadoras de una sola placa, por poseer todos los elementos de esta en un mismo circuito de tamaño reducido, incluyendo la RAM, el microprocesador, las entradas y salidas, además del sonido, red y en ciertos casos especializados inclusive se le adjunta tarjetas gráficas a la placa para facilitar el procesamiento de imágenes y liberar carga de procesamiento

<sup>35</sup> Fuente: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/81CFOG5zVL.\\_SX355\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/81CFOG5zVL._SX355_.jpg)

sobre el microprocesador. La diferencia principal sobre un microcontrolador como los Arduino es que el SBC puede realizar más funciones, debido a que contiene el microprocesador que tienen los microcontroladores y otros componentes extra con los cuales no se cuenta en un microcontrolador. Estos tipos de placas usan de un sistema operativo para funcionar, generalmente basados en Linux. Las desventajas que presentan son principalmente el alto costo que poseen los dispositivos en comparación a los microcontroladores. En la Figura 4.4-2 se observa un ejemplo de un SBC de la marca Raspberry Pi.



**Figura 4.4-2: Pi 4B de Raspberry Pi<sup>36</sup>**

**Tabla 4.4-1: Comparación de tipos de controladores (Elaboración Propia)**

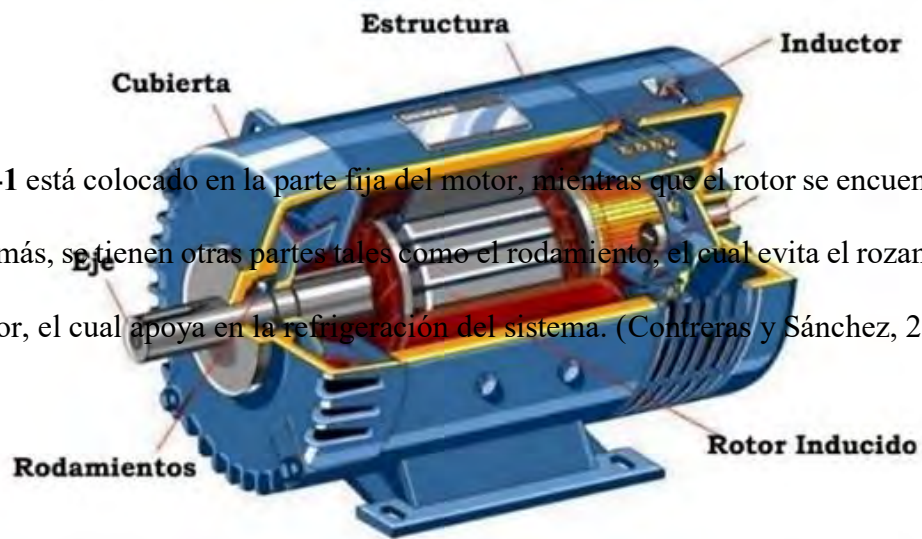
Controlador	SBC	Microcontrolador
Costo	Alto	Bajo
Complejidad del sistema	Alto	Medio
Dificultad de programa	Alto	Medio

<sup>36</sup> Fuente: [https://www.raspberrypi.org/homepage-9df4b/static/a6331df010eb56a7fafb04466af3f1aa/43eee/3a15d4da-46e3-4940-8be6-9fc7d201affe\\_RPi\\_4B\\_FEATURED.jpg](https://www.raspberrypi.org/homepage-9df4b/static/a6331df010eb56a7fafb04466af3f1aa/43eee/3a15d4da-46e3-4940-8be6-9fc7d201affe_RPi_4B_FEATURED.jpg)

## 4.5 Actuadores

Los vehículos requieren de actuadores para poder garantizar su desplazamiento, entre éstos, se tienen los motores, que, para el caso del traslado de vehículos, se separan en dos grupos, dependiendo de la forma de obtener energía del vehículo, ya sea mediante combustible, electricidad o una combinación de ambos (alimentación híbrida), entre estos tenemos: los de combustión interna y los eléctricos. Un motor es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica a energía mecánica.

Las partes de un motor de corriente continua son principalmente dos: el estátor y el rotor. El estátor como se puede observar en la



**Figura 4.5-1** está colocado en la parte fija del motor, mientras que el rotor se encuentra en la parte móvil. Además, se tienen otras partes tales como el rodamiento, el cual evita el rozamiento del eje, un ventilador, el cual apoya en la refrigeración del sistema. (Contreras y Sánchez, 2010).





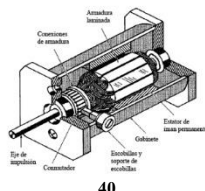

**Figura 4.5-1: Partes Principales de un motor DC<sup>37</sup>**



---

<sup>37</sup> Fuente: Fuente: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf> , figura 1.6-31.

**Tabla 4.5-1: Comparación de Motores (Elaboración Propia)**

Tipo	Motor de Corriente Continua	Motor de Inducción (IM)	Motores DC Sin Escobillas de Imán Permanente (PM BLDC)	Motor de Reluctancia Variable (SRM)
	 38	 39	 40	 41
<b>Características extra</b>	Control simple Velocidad limitada por las escobillas	Estructura simple	Imanes tienen alto costo Velocidad limitada por la posible ruptura de los imanes	Control simple Altas velocidades
<b>Torque</b>	Alto torque a bajas velocidades	Buen torque a altas velocidades	Alto torque a bajas velocidades	Muy buen torque a altas velocidades
<b>Eficiencia</b>	Baja eficiencia	Baja eficiencia	Alta eficiencia	Muy alta eficiencia
<b>Mantenimiento</b>	Alto costo de mantenimiento	Requiere poco mantenimiento	Requiere poco mantenimiento	No requiere de mantenimiento
<b>Confiabilidad</b>	Muy baja confiabilidad	Muy buena confiabilidad	Baja confiabilidad, debido a que los imanes se pueden romper	Muy buena confiabilidad

<sup>38</sup> Fuente: [https://http2.mlstatic.com/775-corriente-continua-12v-36v-3500-9000rpm-motor-bola-tenie-D\\_NQ\\_NP\\_791793-MLM31405059472\\_072019-Q.jpg](https://http2.mlstatic.com/775-corriente-continua-12v-36v-3500-9000rpm-motor-bola-tenie-D_NQ_NP_791793-MLM31405059472_072019-Q.jpg)

<sup>39</sup> Fuente: [https://sc02.alicdn.com/kf/HTB1j6KCCH9YBuNjy0Fgq6AxcXXa7/induction-motor-Cast-iron.jpg\\_350x350.jpg](https://sc02.alicdn.com/kf/HTB1j6KCCH9YBuNjy0Fgq6AxcXXa7/induction-motor-Cast-iron.jpg_350x350.jpg)

<sup>40</sup> Fuente: <http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/images/servo%20motor1.jpg>

<sup>41</sup> Fuente: <http://www.revistaei.cl/wp-content/uploads/sites/9/2017/04/2-copia-1-620x403.jpg>

## CAPÍTULO 5

### DISEÑO CONCEPTUAL

#### 5.1 Lista de Exigencias

**Tabla 4.5-1: Lista de Exigencias (Elaboración Propia)**

<b>Título del Proyecto</b>
Vehículo autónomo para el transporte y posicionamiento de una máquina de soldadura orbital
<b>Función Principal</b>
El vehículo se encarga de transportar y posicionar la máquina de soldadura orbital y su fuente de soldadura a los ductos que requieren de una unión por soldadura, con una capacidad de carga de aproximadamente 100 kg.
<b>Geometría</b>
Las dimensiones máximas del área son de 1000x1000x750 mm (ancho x largo x alto) mm, dado que la altura a la que se colocan los ductos para soldar es de 750 mm ya que actualmente se debe tener suficiente espacio para que un soldador pueda colocarse en el espacio entre el suelo y el ducto para realizar sus labores.
<b>Cinemática</b>
El propósito del sistema es que se pueda movilizar en terreno desigual transportando una carga pesada sin volcarse. Debe ser capaz de movilizarse en colinas con inclinaciones marcadas de hasta 20° y sin moverse en ellas al estar detenido. Además, que no debe volcarse al posicionar la máquina en una colina y encontrarse con la plataforma de elevación en su máxima extensión, que es el momento cuando el centro de masa del sistema se encuentra más elevado respecto al suelo y existe mayor posibilidad de volcadura. Con respecto a la velocidad, dado que la longitud máxima de cada una de los ductos individualmente es de 12 metros, el terreno es de tierra y es

desigual y que además la zona en la que trabajará el vehículo es transitada por personas posicionando tubos y colocando bridas, es una zona transitada, por lo que el vehículo debe trasladarse a una velocidad relativamente baja, con el fin de evitar una potencial colisión con ellos, dado que las distancias entre ductos no son muy largas, una velocidad de 5 km/h es adecuado para que se traslade, ya que con el espaciado de 15 metros entre cada punto de soldadura, tardaría en moverse de un punto a otro aproximadamente 11 segundos.

### **Seguridad**

Como especifica el Decreto Supremo No 005\_2012\_TR, reglamento de la Ley No 29783 de la Ley de Seguridad y Salud en el trabajo, el término seguridad es definido de la siguiente manera: “Son todas aquellas acciones y actividades que permiten al trabajador laborar en condiciones de no agresión tanto ambientales como personales para preservar su salud y conservar los recursos humanos y materiales” (2012). Por esto, se debe tomar en cuenta las siguientes medidas de seguridad:

- Sensores que eviten colisiones con personas u objetos, además de una alarma sonora y visual, que emita un sonido al percibir un obstáculo, para que, en caso de ser una persona, se pueda evitar un accidente.
- Por cuestiones de seguridad debe poseer tanto un modo automático (modo 1), en el cual se mueve y posiciona la soldadora de forma automática, como de un modo manual (modo 2), de tal forma que en caso suceda un incidente el operario pueda mitigar los efectos que este tenga.
- Evitar el diseño de esquinas y lados con filos cortantes o muy marcados para prevenir posibles lesiones en las personas que transitan en la proximidad.

### **Ergonomía**

No debería haber interacción directa entre los humanos y la máquina dado que es autónoma La interfaz de usuario para comunicación a distancia debe ser de preferencia simple para que no se requiera de una larga capacitación en su uso. Sería preferible que la distancia de comunicación sea relativamente alta, aproximadamente 50 metros como máximo, de modo que pueda

<p>mantenerse el monitoreo por más que el operario no se encuentre exclusivamente observando al vehículo.</p>
<p><b>Datos mostrados en la interfaz</b></p>
<p>Se debe mostrar un registro del número de soldaduras exitosas realizadas, estadísticas del tiempo promedio del proceso, los parámetros de la soldadura que se está realizando y la posición en coordenadas del este, para que se pueda localizar con facilidad.</p>
<p><b>Fabricación</b></p>
<p>La estructura del vehículo puede ser fabricada de forma local, mientras que la carrocería externa puede ser fabricada mediante impresión 3D. En cuanto a los componentes, deberán ser adquiridos para luego armar el sistema y programarlo.</p>
<p><b>Montaje</b></p>
<p>Se diseñará el sistema de modo que se puedan reemplazar componentes con facilidad, para que en caso de que deje de funcionar durante el día, no se pierda toda la jornada de trabajo.</p>
<p><b>Transporte</b></p>
<p>Mientras no está funcionando se puede transportar el vehículo y la fuente generadora de corriente en una camioneta pickup.</p>
<p><b>Uso</b></p>
<p>Debido al clima húmedo, caluroso, con posibilidad de lluvias torrenciales y la presencia de tierra y polvo en las zonas a las que el vehículo estará sometido, algún grado de protección, tal como IP67 es necesario para que el vehículo tenga un mayor tiempo de vida y requiera de menor mantenimiento. Debe funcionar en terrenos de tierra irregular, que es donde comúnmente se arman los ductos. Un operario con conocimientos en soldadura debe encargarse de su funcionamiento, tanto del control manual, como del automático, dado que el operario debe ser capaz de modificar los parámetros de soldadura según se requiera.</p> <p>Su funcionamiento en sí, debe ser: dar inicio a su modo automático y dejarlo en un rango de máximo 3 metros de distancia con respecto al ducto que requiere de soldadura, el vehículo comienza su traslado, manteniéndose paralelo al tubo. La forma para detectar los lugares dónde colocar la máquina de soldadura, viene dado por la presencia de bridas con los rieles de desplazamiento instalados en ellas, los cuales deben ser pintadas de modo que resalten del fondo</p>



para aumentar la precisión del sistema de visión. En caso de que la batería de apoyo tenga un nivel de carga bajo, mostrar una notificación en el control al operario para regresar a la camioneta en donde se encuentra la fuente de alimentación de la máquina de soldadura para que se conecte a la fuente correspondiente que le permita cargarse.

### **Mantenimiento**

El mantenimiento sería apropiado realizarlo bimestralmente, dado que funcionará en un clima adverso para los componentes electrónicos, además de estar en contacto constante con tierra, polvo y partículas sólidas producto de la soldadura.

### **Deseable**

Automatizar el proceso de soldadura de ductos que transportan hidrocarburos, logrando:

- Aumentar la cantidad de uniones soldadas al mes que se logran actualmente mediante el proceso manual, las cuales son aproximadamente 208 al mes.
- Reducir o mantener el error en los cordones de soldadura, el cual se encuentra en 8% actualmente, debido a la índole repetitiva y automatizada se espera reducir los errores en al menos 50%.
- La batería de apoyo del vehículo debe durar para aproximadamente 30 minutos de funcionamiento continuo, para la alimentación de los motores y sistemas de control del vehículo para que le permita navegar sin dificultades. La razón por la que se busca que dure 30 minutos es para que tenga tiempo para regresar al rango visual del operador y poder llegar a su punto de carga.

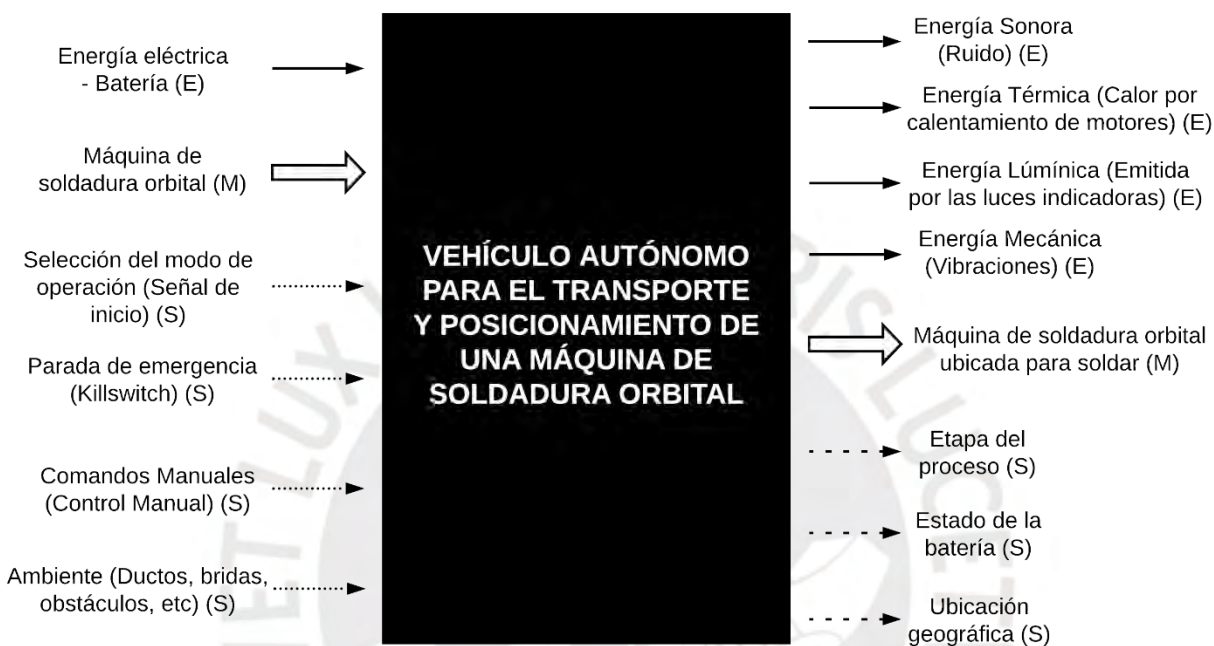
## **5.2 Estructura De Funciones**

### **5.2.1 Blackbox.**

El Blackbox del vehículo autónomo para el transporte y posicionamiento de una máquina orbital delimita su función principal, las entradas y salidas del sistema sin profundizar en detalles

internos. En la Figura 5.2-1 se pueden observar las entradas y salidas delimitadas para nuestro sistema.

## ENTRADAS



## SALIDAS

**Figura 5.2-1: BlackBox (Elaboración Propia)**

### 5.2.2 Función Principal.

El vehículo tiene como función principal recibir una máquina de soldadura orbital y realizar los procesos de transporte, posicionamiento y recojo con el fin de que mediante este procedimiento se pueda realizar una serie de soldaduras precisas en ductos de forma automatizada.

### 5.2.3 Entradas.

El sistema posee entradas de tres tipos: materia, energía y señales. Estos se explican a continuación.

### **5.2.3.1 Entradas de energía.**

Considerando que el vehículo debe ser móvil, además de que cuenta con diversos actuadores, se decide que el tipo de energía usado para la entrada sea energía eléctrica alterna de una fuente generadora y como alimentación alternativa corriente continua proporcionada por una batería.

### **5.2.3.2 Entradas de materia.**

Las entradas de materia son relacionadas únicamente con la máquina de soldadura orbital, dado que al ser un vehículo transportador y su objetivo no es producir, no requiere de insumos.

### **5.2.3.3 Entradas de señal.**

Se identifican tres señales para el funcionamiento y control del sistema. Entre estas se encuentran: el modo de operación, parada de emergencia, comandos manuales y la información brindada por el ambiente.

El proceso inicia al seleccionar el modo de operación, ya sea automático o manual, lo cual pone en marcha el vehículo. Si es elegido el modo manual el vehículo requerirá de comandos manuales para movilizarse, mientras que, si es elegido el modo manual, el móvil usará la información brindada por el ambiente, con la posibilidad de que el operario accione la parada de emergencia en caso de algún imprevisto.

## **5.2.4 Salidas.**

Las salidas del vehículo, producto de su proceso son señales, materia y energía.

### **5.2.4.1 Salidas de energía.**

Las salidas de energía son tanto producto de la actividad del vehículo como pérdidas energéticas en su funcionamiento debido a la eficiencia energética de los componentes. Entre ellas se tiene: energía sonora, térmica, mecánica y lumínica.

La energía sonora proviene tanto de alarmas que indican peligro y el ruido causado por el movimiento de los mecanismos, la fricción entre ellos, etc.

La energía térmica es producto del uso de los actuadores, los cuales al moverse generan calor, además de pérdidas térmicas por parte de la batería debido a su calentamiento al usarse.

La energía lumínica se puede manifestar en los indicadores luminosos que indican peligro en el vehículo.

#### **5.2.4.2 Salidas de materia.**

Las salidas de materia, dado a que no se interactúa con materia externa además de la máquina de soldadura orbital, la cual se deja provisionalmente y luego se recoge para repetir el proceso de vuelta en otra junta.

#### **5.2.4.3 Salidas de señal.**

Se seleccionan las señales de “Etapa del proceso”, “Estado de la batería” y “Ubicación Geográfica”. Estas señales nos informan acerca del vehículo, para poder monitorear su desempeño y mantenerlo bajo control, para así evitar daños.

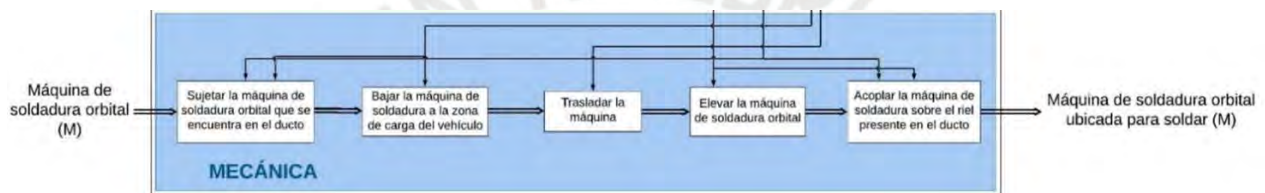
La señal de etapa del proceso nos permite conocer el estado de la máquina, ya sea que se encuentre trasladándose, posicionando la máquina o recogiéndola, de modo que el operario pueda tener más información al supervisar. El estado de la batería sirve como indicador para conocer en si el vehículo autónomo debe regresar a su estación de carga. La señal de ubicación geográfica nos permite conocer la ubicación del vehículo en caso de que se aleje del rango visual del operario y para poder ser ubicado en caso que su batería se agote antes de volver a la estación.

### 5.2.5 Subsistemas.

Los subsistemas son seleccionados con el fin de poder comprender completamente el sistema y poderlo dividir de manera eficiente. Entre los subsistemas se tiene: el subsistema mecánico, el subsistema de actuadores, el subsistema de sensores, el subsistema de energía, el subsistema de procesamiento de datos y el subsistema de interacción con el usuario.

#### 5.2.5.1 Subsistema mecánico.

Este posee las funciones que se encargan de los movimientos principales relacionados a la máquina de soldadura orbital, estos se pueden apreciar en la Figura 5.2-2.



**Figura 5.2-2: Subsistema mecánico**

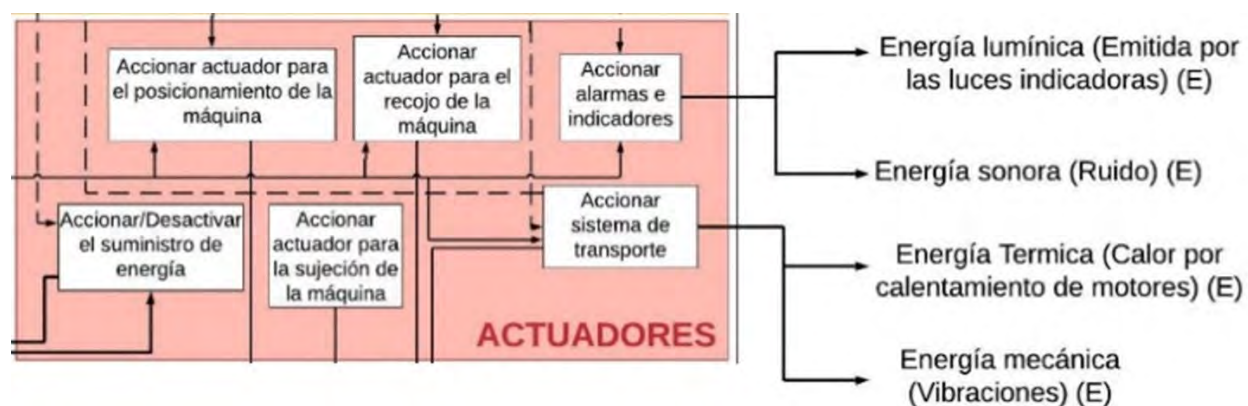
- **Sujetar la máquina de soldadura orbital que se encuentra en el ducto:** Se realiza una labor conjunta entre actuador usado para controlar la posición de recojo de la máquina y un actuador el cual la sujeta y libera del riel al que se encuentra unido.
- **Bajar la máquina de soldadura a la zona de carga del vehículo:** luego de ser separada del ducto, se procede a dejar la máquina en la plataforma de elevación del vehículo, de modo que su peso no afecte de forma importante al desplazamiento de este.
- **Trasladar la máquina:** El vehículo moviliza la máquina hasta la siguiente posición que requiere de soldadura.
- **Elevar la máquina de soldadura:** Luego de encontrar la posición que requiere de soldadura e identificar la ubicación en la que tiene que colocarse, se procede a elevar la máquina desde la zona de carga del vehículo hacia la posición en la que debe colocarse.



- **Acoplar la máquina de soldadura al ducto:** Se vuelve a emplear de forma conjunta los mecanismos de sujeción y el de elevación con el fin de poder acoplar la máquina de soldadura sobre el riel que se encuentra presente en el ducto de forma precisa.

#### 5.2.5.2 Subsistema de actuadores.

Conformado por los mecanismos que realizan una acción física en el sistema, estos se pueden apreciar en la Figura 5.2-3.

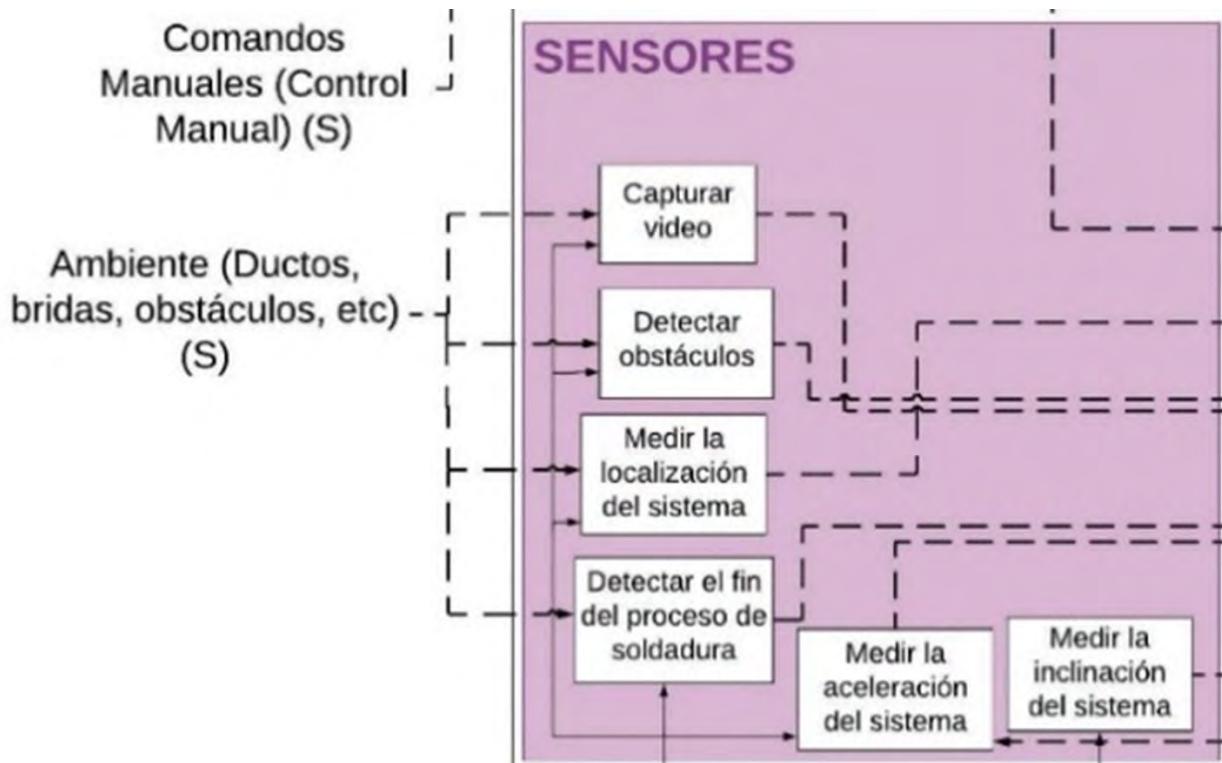


**Figura 5.2-3: Subsistema de actuadores**

- **Accionar/Desactivar el suministro de energía:** Esta función se encarga de proveer energía a la máquina para dar inicio al proceso el momento en el cual recibe la señal para iniciar el movimiento.
- **Accionar actuador para el posicionamiento de la máquina:** Esta función se encarga de mover el actuador encargado de elevar la máquina de soldadura.
- **Accionar actuador para el recojo de la máquina:** Se activa el actuador que realiza el recojo de la máquina de soldadura del ducto soldado.
- **Accionar alarmas e indicadores:** Se accionan bocinas y luces que alertan y notifican de una situación de peligro a la gente circundante.
- **Accionar sistema de transporte:** Los motores que se encargan de la movilidad del vehículo comienzan a funcionar.

### 5.2.5.3 Subsistema de sensado.

Se encarga de sensar las variables requeridas para que el proceso se realice de forma óptima, minimizando el error, como se puede observar en la Figura 5.2-4.



**Figura 5.2-4: Subsistema de sensado**

- **Capturar video:** Con el fin de poder localizar las zonas que requieren de soldadura, es necesario capturar video en las inmediaciones del vehículo para encontrarlas.
- **Detectar obstáculos:** Para poder evitar obstáculos se requiere de identificarlos primero, para ello se sensa el área circundante al vehículo.
- **Medir la localización del sistema:** Para poder realizar un traslado eficiente y poder localizar el vehículo en caso de que se aleje del rango visual.
- **Detectar el fin del proceso de soldadura:** Con el fin de conocer en qué momento se debe recoger la máquina de soldadura orbital, es necesario saber en qué momento termina de soldar.

- **Medir la aceleración del sistema:** Para poder controlar el sistema y que no vaya demasiado rápido, aumentando las posibilidades de que suceda un accidente, es necesario sentir la aceleración a la que se encuentra.
- **Medir la inclinación del sistema:** De forma que se eviten las volcaduras en el vehículo, el cual tendrá centro de masa cambiante, debido a la máquina de soldadura moviéndose, se sensa la inclinación del sistema por seguridad.

#### 5.2.5.4 Subsistema de energía.

Mantiene el funcionamiento del sistema a través de la fuente de energía, esto se puede apreciar en la Figura 5.2-5.

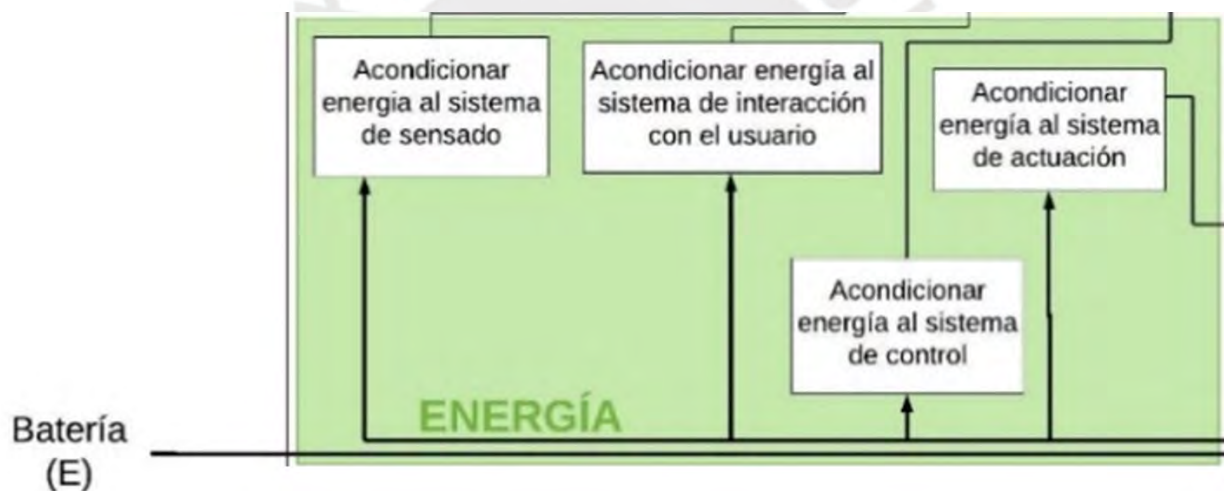


Figura 5.2-5: Subsistema de energía

- **Acondicionar energía al sistema de sensado:** Se acondiciona la energía de entrada a la necesaria por el sistema de sensado.
- **Acondicionar energía al sistema de interacción con el usuario:** Se acondiciona la energía de entrada a la necesaria por el sistema de interfaz.
- **Acondicionar energía al sistema de control:** Se acondiciona la energía de entrada a la necesaria por el sistema de control que se emplee y puede ser 5V DC o 220V AC.

- **Acondicionar energía al sistema de actuación:** Se acondiciona la energía de entrada a la necesaria por el sistema de actuación que puede ir entre 5 y 24 V DC.

#### 5.2.5.5 Subsistema de procesamiento de datos.

Este subsistema procura garantizar la precisión en los mecanismos y la seguridad del sistema, su correcto funcionamiento es de vital importancia, se pueden observar las funciones en la Figura 5.2-6.

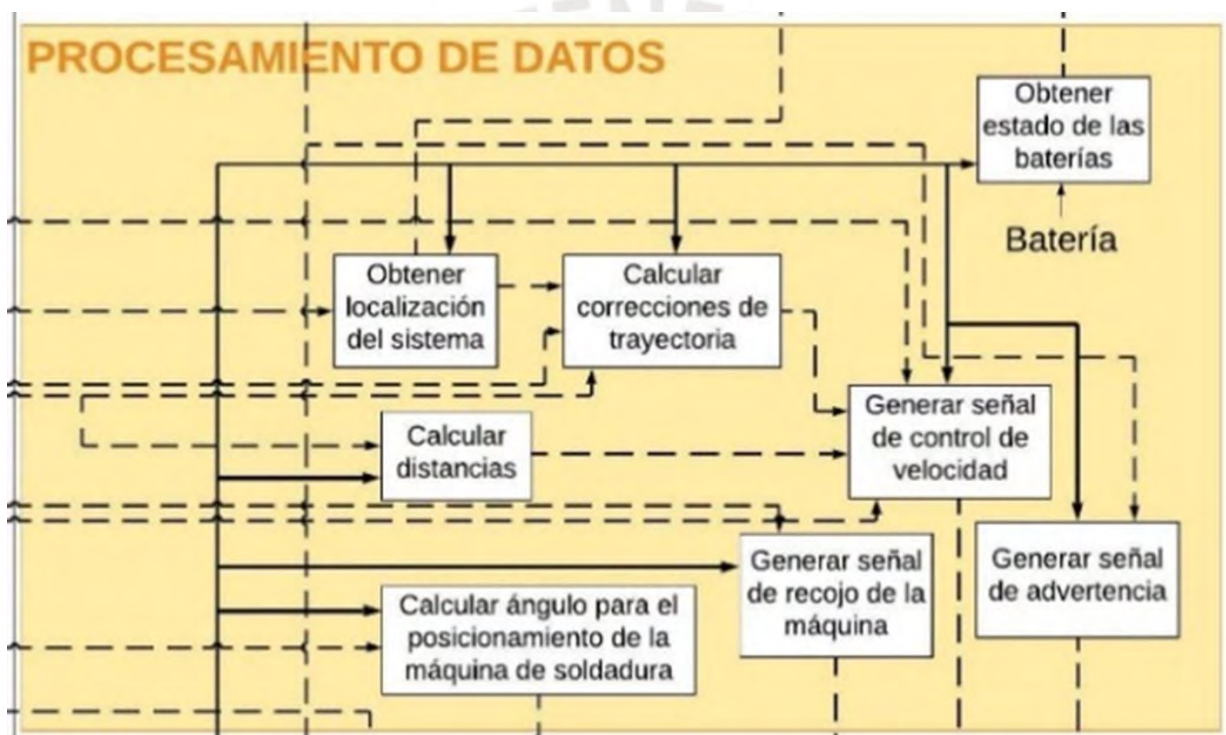


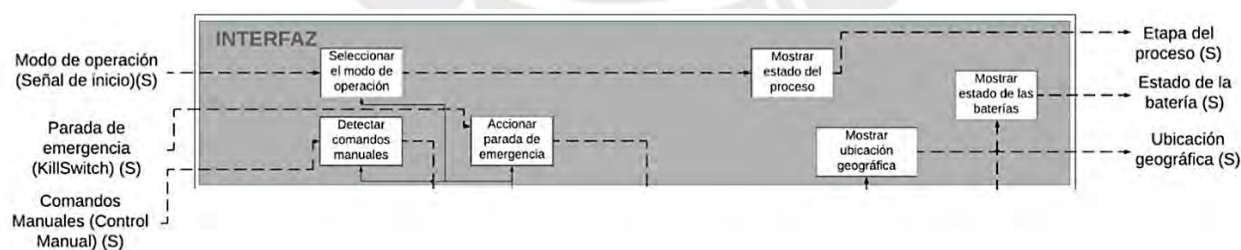
Figura 5.2-6: Subsistema de procesamiento de datos

- **Calcular correcciones de trayectoria:** Se analiza el ángulo que el vehículo debe girar de tal forma que no se desvíe de la trayectoria establecida.
- **Calcular distancias:** Se miden las distancias hacia objetos tales como obstáculos o la posición del ducto que se requiere soldar.

- **Obtener localización del sistema:** Se procesa la información del posicionamiento del vehículo y se traduce en información que el programa puede comparar.
- **Obtener estado de las baterías:** Se obtiene el porcentaje de batería restante en el vehículo.
- **Generar señal de control de velocidad:** Se genera una señal que genere un movimiento adecuado de los actuadores, esta señal depende de lo procesado por varios otros subsistemas.
- **Calcular ángulo para el posicionamiento de la máquina de soldadura:** Se corrige el ángulo en el cual debe posicionarse la máquina de soldadura en caso que el ducto no se encuentre posicionado de forma paralela.
- **Generar señal de recojo de la máquina:** Se emite una señal para que el vehículo se aproxime de vuelta al ducto para recoger la máquina de soldadura.
- **Generar señal de advertencia:** Se genera una señal de peligro para que los actuadores generen una señal de forma física.

#### 5.2.5.6 Subsistema de interacción con el usuario.

Este subsistema permite la comunicación del vehículo con el operario, facilitando la realización del proceso y el monitoreo del mismo, como se puede apreciar en la Figura 5.2-7.



**Figura 5.2-7: Subsistema de interacción con el usuario**

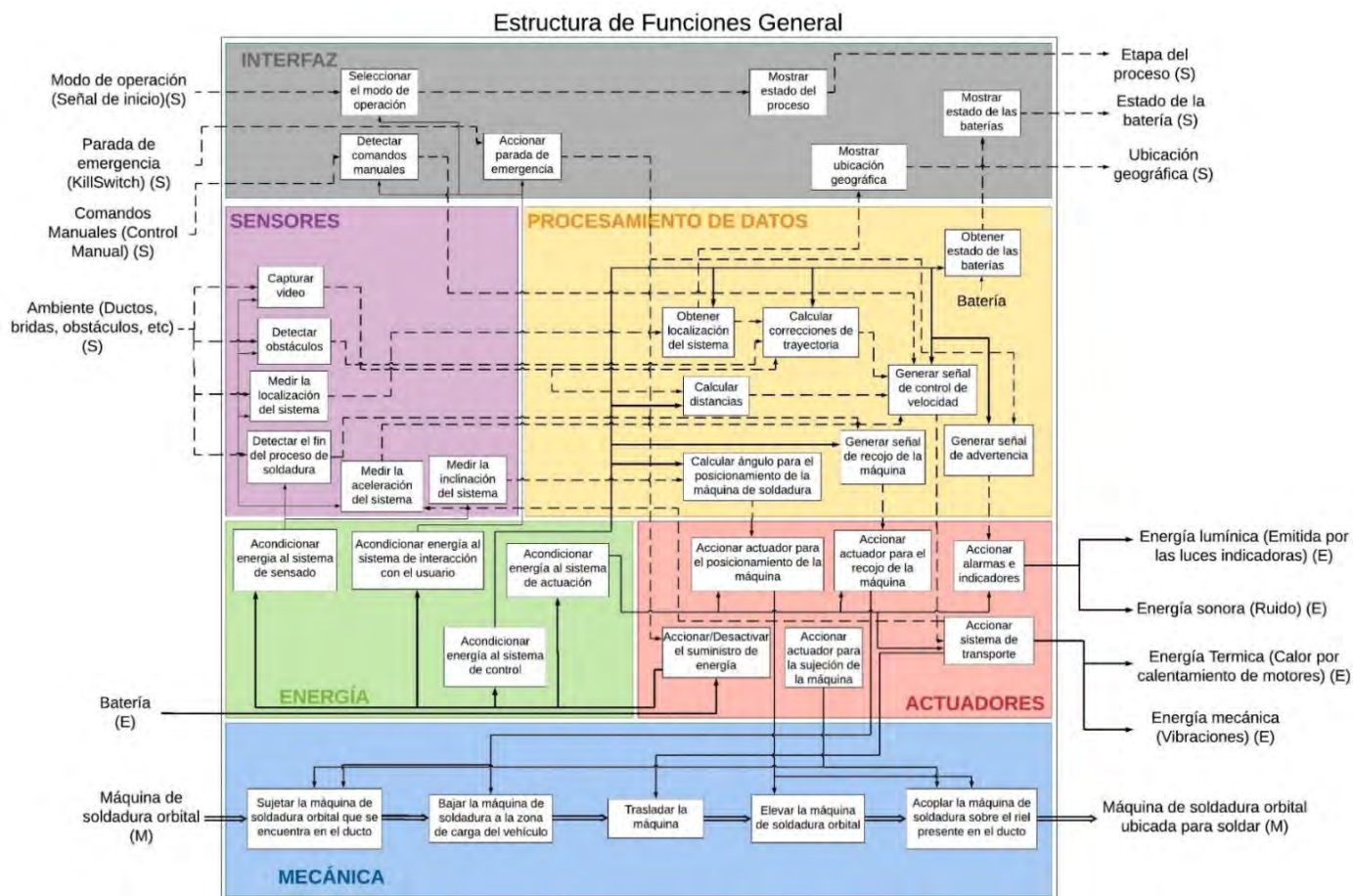
- **Seleccionar modo de operación:** El usuario usa este subsistema para dar inicio al proceso o cambiar de modo de operación.



- **Sensar comandos manuales:** El sistema lee las señales de movimiento enviadas por el usuario y las procesa.
- **Accionar parada de emergencia:** El usuario envía una señal al sistema para detener todos los procesos que están realizando.
- **Mostrar visualización de la cámara:** El usuario puede observar lo que la cámara del vehículo se encuentra visualizando, de modo que pueda monitorear el funcionamiento.
- **Mostrar estado del proceso:** Se muestra al usuario la etapa en la que se encuentra el proceso.
- **Mostrar ubicación geográfica:** El usuario puede visualizar la ubicación geográfica del sistema con el fin de poder encontrarlo en caso de pérdida.
- **Mostrar estado de las baterías:** Se muestra la carga actual de la batería del vehículo para que el operario pueda administrarla de forma correcta.

#### 5.2.6 Estructura de funciones global.

La estructura de funciones global indica la forma de comunicación entre las funciones de cada subsistema, mientras que mediante bloques se representa cada función descrita previamente, agrupadas en los sistemas correspondientes, indicados previamente también. Todos estos bloques se conectan de forma lógica en el proceso con el fin de entender el funcionamiento y el flujo del sistema completo.



**Figura 5.2-8: Estructura de Funciones (Elaboración Propia)**

### 5.3 Estructura De Funciones

El proceso del sistema comienza con la energización del vehículo, seguido de lo cual, un operario coloca la máquina de soldadura orbital sobre la plataforma de carga del vehículo. Seguido de esto, un segundo operario, el cual se encarga de la manipulación del vehículo inicia el proceso con la selección del modo de operación del sistema, el cual puede ser una de dos opciones: “modo automático”, en el cual el vehículo realiza un seguimiento activo de los ductos, reconoce y encuentra las posiciones de las juntas y coloca y retira la máquina de soldadura orbital en cada una de ellas. Mientras que segundo modo de operación es el “modo manual”, el cual es un modo en el que el operario manipula al vehículo forma análoga en la que se controla un automóvil a través de

un mando a distancia, en caso que se desee regresar el vehículo a su zona de almacenamiento o de carga. Por último, el vehículo puede apagarse de forma manual o automática, para lo primero el operario debe presionar un botón en el mando para su detención y luego apagar el vehículo desde el chasis, mientras que para el apagado automático. Como se observa en la Figura 5.3-1, se muestra un diagrama que indica los procesos más importantes realizados por el operador y la máquina en su funcionamiento.



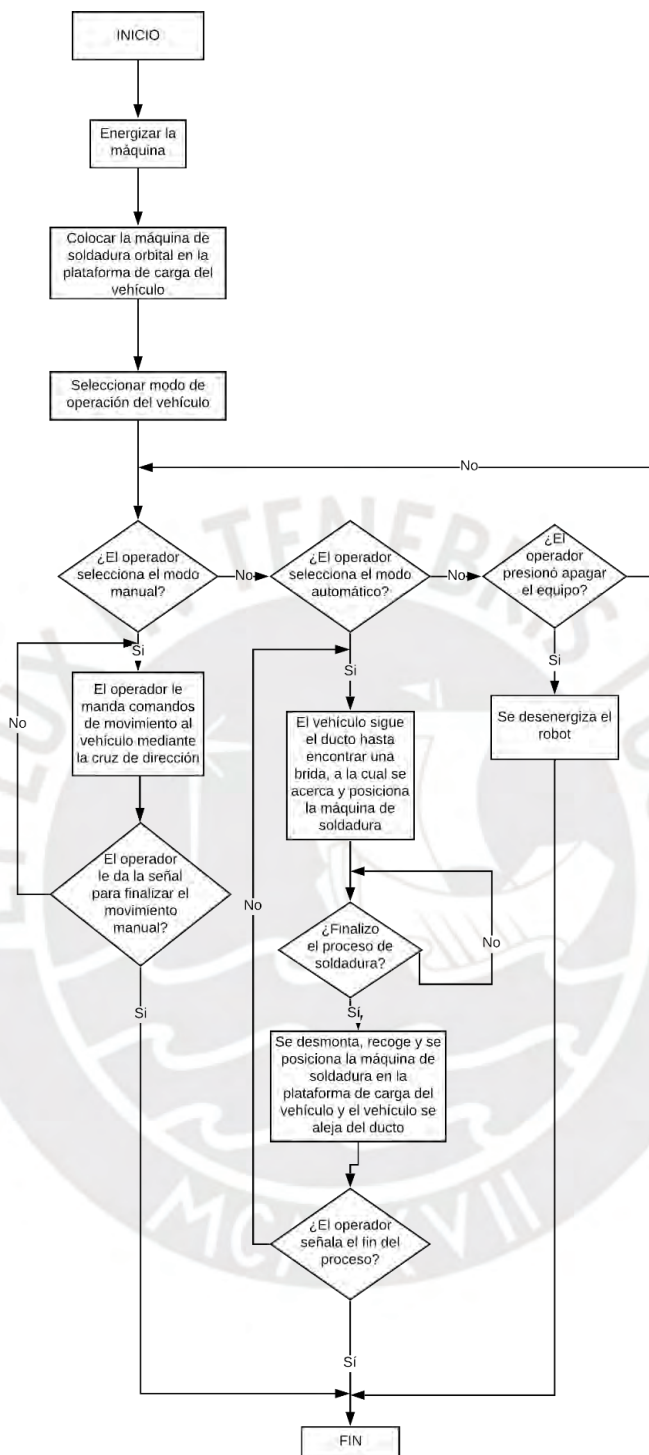












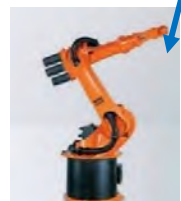

Figura 5.3-1: Diagrama de Operaciones (Elaboración Propia)

## 5.4 Conceptos de Solución


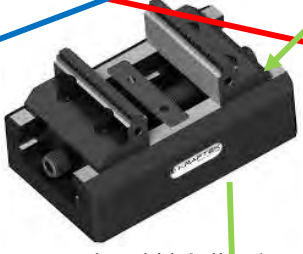
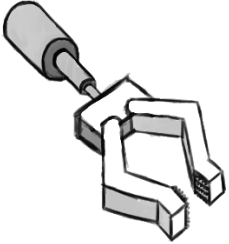












Se realiza la selección de principios para cada una de los tres conceptos de solución que serán planteados a continuación.















Concepto de solución	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3
Color de Indicador			





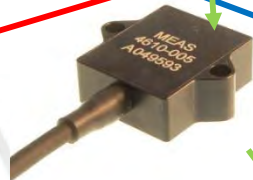













Tabla 5.3-1: Conceptos de Solución (Elaboración Propia)

GRUPO	FUNCIÓN PARCIAL	PRINCIPIO DE SOLUCIÓN		
		Nº1	Nº2	Nº3
MECÁNICO	<i>Sujetar la máquina de soldadura orbital que se encuentra en el ducto</i>	 Gripper	 Mordaza eléctrica	 Gripper Telescópico
	<i>Bajar la máquina de soldadura a la zona de carga del vehículo</i>	 Mecanismo elevación de tijera	 Brazo Robótico	 Mecanismo Tipo Grúa telescópica
	<i>Trasladar la máquina</i>	 Orugas	 Semi Oruga	 Ruedas Omnidireccionales
	<i>Elevar la máquina de soldadura orbital</i>	 Mecanismo elevación de tijera	 Brazo Robótico	 Grúa telescópica




































GRUPO	FUNCIÓN PARCIAL	PRINCIPIO DE SOLUCIÓN		
		Nº1	Nº2	Nº3
	<i>Acoplar la máquina de soldadura sobre el riel presente en el ducto</i>	 Gripper	 Mordaza hidráulica / eléctrica	 Gripper Telescópico
ACTUADORES	<i>Accionar / Desactivar el suministro de energía</i>	 Botón	 Switch	 Llave o Perilla
	<i>Accionar actuador para la sujeción de la máquina</i>	 Motor a pasos	 Servomotor	 Actuador lineal Eléctrico
	<i>Accionar actuador para el posicionamiento de la máquina</i>	 Motor a pasos	 Actuador Lineal Neumático	 Actuador Lineal Eléctrico
	<i>Accionar actuador para el recojo de la máquina</i>	 Motor a pasos	 Actuador Lineal Neumático	 Actuador Lineal Eléctrico

GRUPO	FUNCIÓN PARCIAL	PRINCIPIO DE SOLUCIÓN		
		Nº1	Nº2	Nº3
	<i>Accionar alarmas e indicadores</i>	 Luz LED indicadora	 Bocina	 Timbre
	<i>Accionar sistema de transporte</i>	 Motor DC	 Motor a pasos	 Motor AC
S E N S A D O	<i>Capturar video</i>	 Cámara Industrial	 Cámara Web	
	<i>Sensar obstáculos</i>	 Sensor Capacitivo	 Sensor Láser	 Sensor ultrasónico
	<i>Sensar localización del sistema</i>	 GPS	 IMU	 GPS + IMU

GRUPO	FUNCIÓN PARCIAL	PRINCIPIO DE SOLUCIÓN		
		Nº1	Nº2	Nº3
ENERGÍA	Sensar fin del proceso de soldadura	 Sensor lumínico	 Cámara	 Cámara Web
	Sensar aceleración del sistema	 Acelerómetro capacitivo	 Acelerómetro piezoresistivo	 Sensores de rotación angular
	Sensar inclinación del sistema	 IMU	 Giroscopio	 Inclinómetro Micro Electro Mecánico
	Acondicionar energía al sistema de sensado	 Step Up	 Step Down	 Fuente de alimentación conmutada
	Acondicionar energía al sistema de interacción con el usuario	 Step Up	 Step Down	 Fuente de alimentación conmutada
	Acondicionar energía al sistema de control	 Step Up	 Step Down	 Fuente de alimentación conmutada



GRUPO	FUNCIÓN PARCIAL	PRINCIPIO DE SOLUCIÓN		
		Nº1	Nº2	Nº3
	<i>Acondicionar energía al sistema de actuación</i>	 Step Up	 Step Down	 Fuente de alimentación conmutada
P R O C E S A M I E N T O  D E  D A T O S	<i>Generar señal de recojo de la máquina</i>	 Microcontrolador	 Computadora Embebida especializada en procesamiento de imágenes	 Placa computadora especializada en procesamiento de imágenes
	<i>Calcular correcciones de trayectoria</i>	 Microcontrolador	 Computadora Embebida especializada en procesamiento de imágenes	 Placa computadora especializada en procesamiento de imágenes
	<i>Calcular distancias</i>	 Computadora Embebida especializada en procesamiento de imágenes	 Microcontrolador	 Placa computadora especializada en procesamiento de imágenes
	<i>Obtener localización del sistema</i>	 Microcontrolador	 Computadora Embebida especializada en procesamiento de imágenes	 Placa computadora especializada en procesamiento de imágenes
	<i>Obtener estado de las baterías</i>	 Microcontrolador	 Computadora Embebida especializada en procesamiento de imágenes	 Placa computadora especializada en procesamiento de imágenes

GRUPO	FUNCIÓN PARCIAL	PRINCIPIO DE SOLUCIÓN		
		Nº1	Nº2	Nº3
	<i>Generar señal de control de velocidad</i>	 Microcontrolador	 Computadora Embebida especializada en procesamiento de imágenes	 Placa computadora especializada en procesamiento de imágenes
	<i>Calcular ángulo para el posicionamiento de la máquina de soldadura</i>	 Computadora Embebida especializada en procesamiento de imágenes	 Microcontrolador	 Placa computadora especializada en procesamiento de imágenes
	<i>Generar señal de advertencia</i>	 Microcontrolador	 Computadora Embebida especializada en procesamiento de imágenes	 Placa computadora especializada en procesamiento de imágenes
I N T E R F A Z	<i>Seleccionar modo de operación</i>	 Perilla	 Botón	 Switch
	<i>Sensar comandos manuales</i>	 Análogo	 Cruz de Movimiento	 Pantalla táctil



GRUPO	FUNCIÓN PARCIAL	PRINCIPIO DE SOLUCIÓN		
		Nº1	Nº2	Nº3
	<i>Accionar parada de emergencia</i>	 <p>Botón</p>	 <p>Switch</p>	 <p>Llave</p>
	<i>Mostrar estado del proceso</i>	 <p>Pantalla LCD</p>	 <p>Pantalla táctil</p>	 <p>Dispositivo Bluetooth</p>
	<i>Mostrar ubicación geográfica</i>	 <p>Pantalla LCD</p>	 <p>Pantalla táctil</p>	 <p>Dispositivo Bluetooth</p>
	<i>Mostrar estado de las baterías</i>	 <p>Pantalla LCD</p>	 <p>Dispositivo Bluetooth</p>	 <p>Indicadores LED</p>

### 5.4.1 Concepto 1.

El diseño de la Figura 5.3-1 contempla el uso de ruedas convencionales para su movilización. Se cuenta con una cúpula en la parte frontal, la cual alberga la cámara, esta posee dos grados de libertad de movimiento, de tal forma que pueda seguir el ducto a medida que se moviliza el vehículo, además de que posea la capacidad de detectar cuando el proceso de soldadura ha finalizado. Se cuenta con un sensor láser para la detección de obstáculos para evitar golpes del vehículo y posibles atascamientos en el terreno. Cuenta con un GPS para medir su localización y poder moverse de forma más eficiente y precisa. Con respecto al posicionamiento de la máquina de soldadura se cuenta con una plataforma que se eleva y un “gripper” telescópico para la sujeción de la máquina en el proceso de posicionamiento y retiro. La alimentación del vehículo es brindada por baterías y el acondicionamiento de la energía se da por medio de step downs y step ups, según es requerido por cada uno de los dispositivos.

#### Leyenda Concepto de Solución 1:

- |                       |                           |                             |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1)Gripper Telescópico | 2)Plataforma de elevación | 3)Ruedas                    |
| 4)Botón               | 5)Motor a pasos           | 6)Actuador Lineal Eléctrico |
| 5)Luz LED indicadora  | 8)Motor DC                | 9)Cámara Web                |
| 10)Sensor Láser       | 11)Switch                 | 12)Cruz de dirección        |
| 13)Perilla            | 14)Pantalla LCD           |                             |

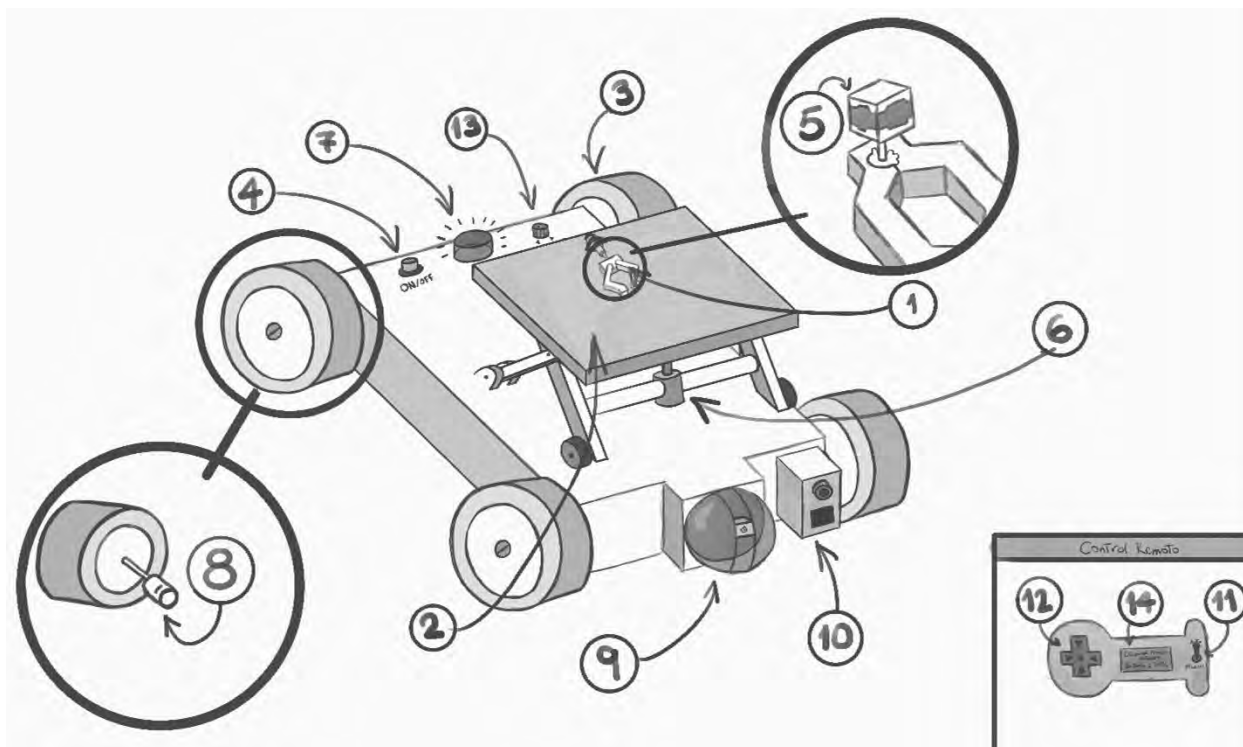


Figura 5.3-1: Concepto de solución 1 (Elaboración Propia)

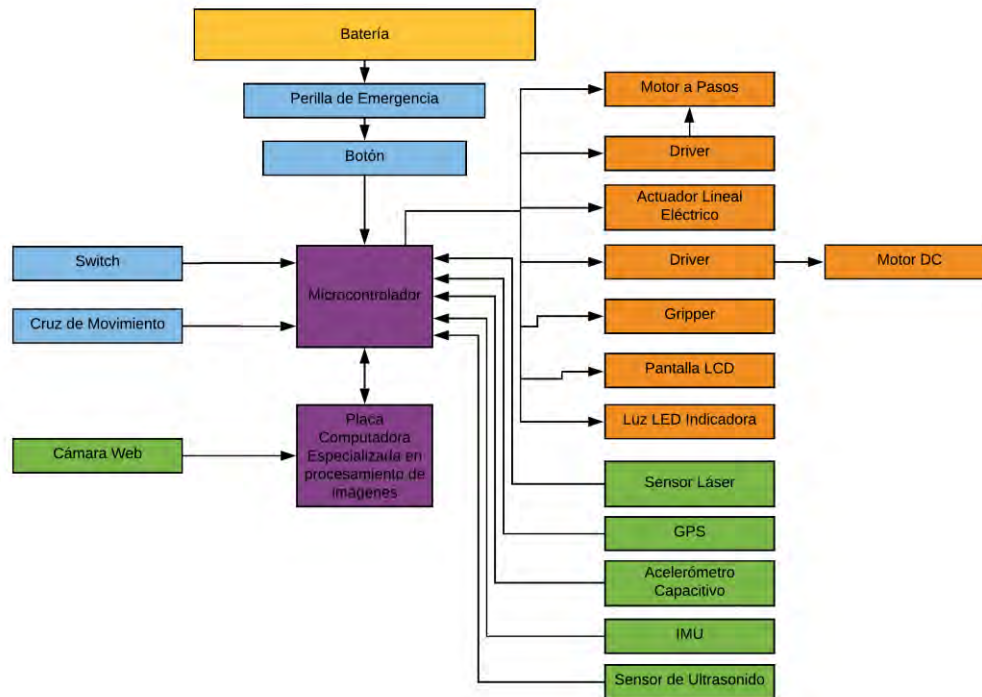


Figura 5.3-2: Arquitectura de Hardware del Concepto 1 (Elaboración Propia)

### 5.4.2 Concepto 2.

En el diseño de la Figura 5.3-3 se plantea el uso de un mecanismo de movimiento de semi orugas, de modo que el traslado en zonas de terreno no afirmado sea más confiable y con una mayor maniobrabilidad dada por las llantas delanteras. Cuenta con una cámara web para el procesamiento de imágenes, tales como el seguimiento de los ductos. En este caso, el robot se apoya de un sensor de luminosidad para poder detectar el fin del proceso de soldadura y poder conocer el momento en el cual debe recoger la máquina de soldadura orbital. Para su navegación se apoya de un arreglo de un GPS y un IMU de modo que su posicionamiento sea más preciso. Para la detección de obstáculos se emplea un sensor ultrasónico. En cuanto al posicionamiento de la máquina de soldadura se emplea un brazo robótico con dos refuerzos de actuadores lineales para poder sostener un mayor peso, el cual cuenta con un “Gripper” el cual puede posicionar y retirar con precisión a la máquina de soldadura, además de en caso de que el vehículo autónomo se encuentre estancado sin la posibilidad de moverse a causa de algún obstáculo, el brazo robótico cumple la función para sacar al vehículo de esa complicación.

#### Leyenda Concepto de Solución 2:

1)Gripper	2)Brazo robótico	3)Semi Oruga
4)Llave o perilla	5)Servomotor	6)Motor a pasos
7)Bocina	8)Cámara Web	9)Sensor Ultrasónico
10)Sensor Lumínico	11)Perilla	12)Análogo
13)Botón	14)Pantalla Táctil	15)Indicadores LED

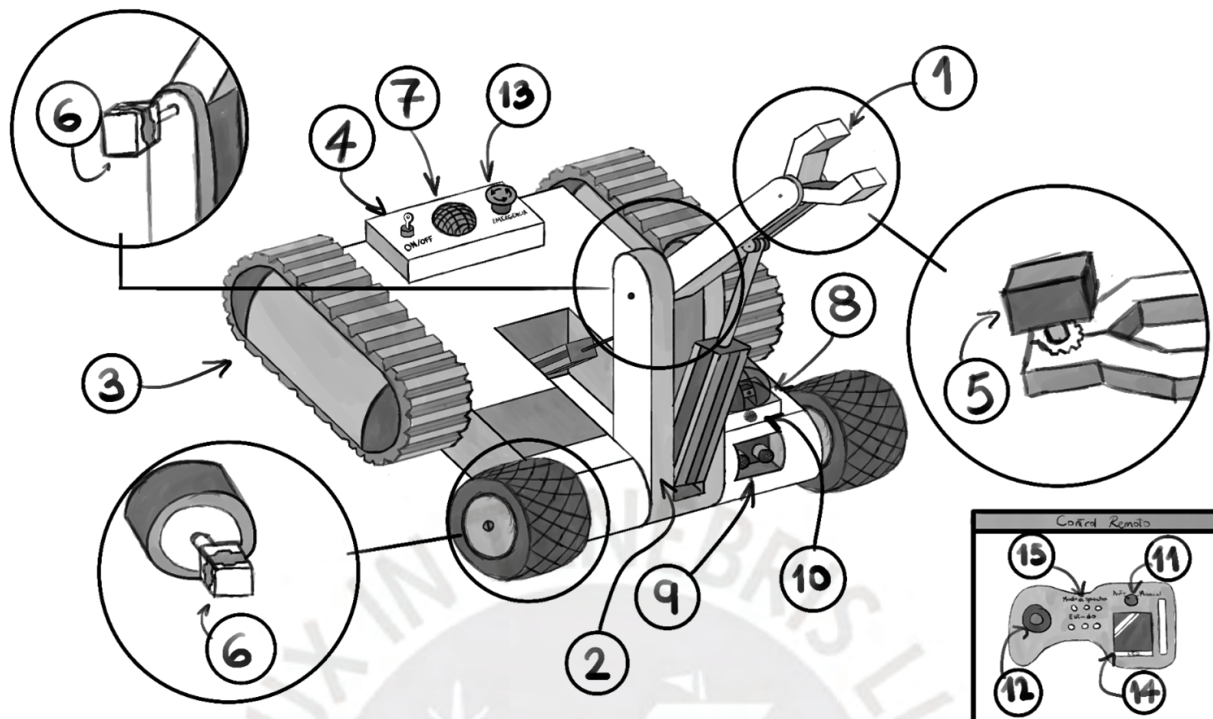


Figura 5.3-3: Concepto de solución 2 (Elaboración Propia)

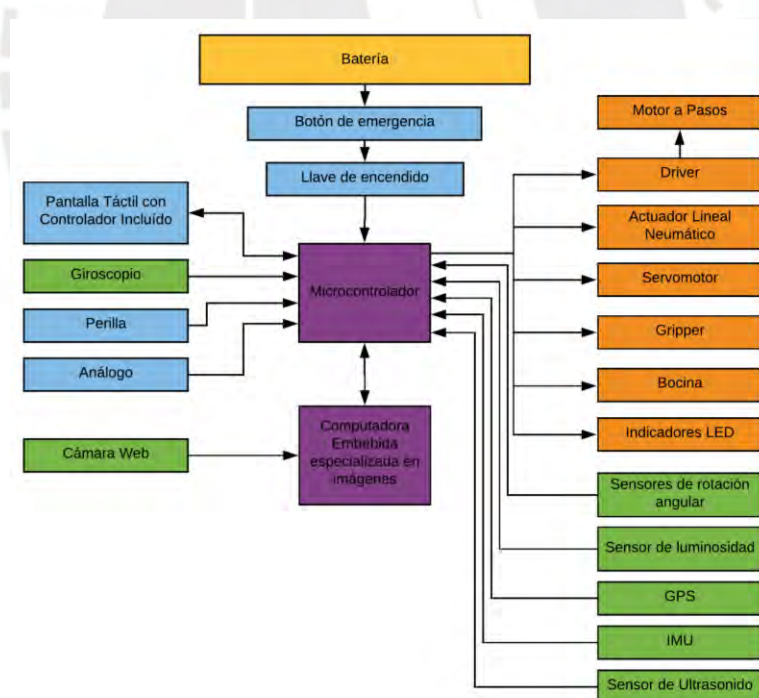


Figura 5.3-4: Arquitectura de Hardware del Concepto 2 (Elaboración Propia)



### 5.4.3 Concepto 3.

El diseño de la Figura 5.3-5 se plantea el uso de ruedas omnidireccionales para el desplazamiento en el terreno, de modo que los giros sean más fáciles de realizar. Este concepto de solución también cuenta con una cámara para el procesamiento de imágenes el cual contempla la detección del fin de soldadura, con la diferencia de que esta es una cámara industrial. Para la detección y evasión de obstáculos, cuenta con un sensor capacitivo, con el fin de evitar colisiones tanto con objetos como con personas. Con respecto al modo de posicionamiento de la máquina de soldadura se emplea una grúa telescópica, la cual posee una prensa eléctrica en el final, de modo que, mediante este mecanismo, se pueda tanto sujetar la máquina de soldadura para moverla de la posición de reposo ubicada sobre el vehículo autónomo al ducto. La alimentación de este concepto viene dada por una fuente conmutada (“switching”), por medio de alimentación con corriente alterna obtenida de un generador el cual se encuentra en el automóvil que acompaña al robot.

#### Leyenda Concepto de Solución 3:

- |                          |                         |                            |
|--------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1)Mordaza Eléctrica      | 2)Tipo Grúa Telescópica | 3)Ruedas Omnidireccionales |
| 4)Switch                 | 5)Actuador Lineal       | 6)Timbre                   |
| 7)Motor AC               | 8)Cámara Industrial     | 9)Sensor Capacitivo        |
| 10)Botón                 | 11)Pantalla Táctil      | 12)Switch                  |
| 13)Dispositivo Bluetooth |                         |                            |

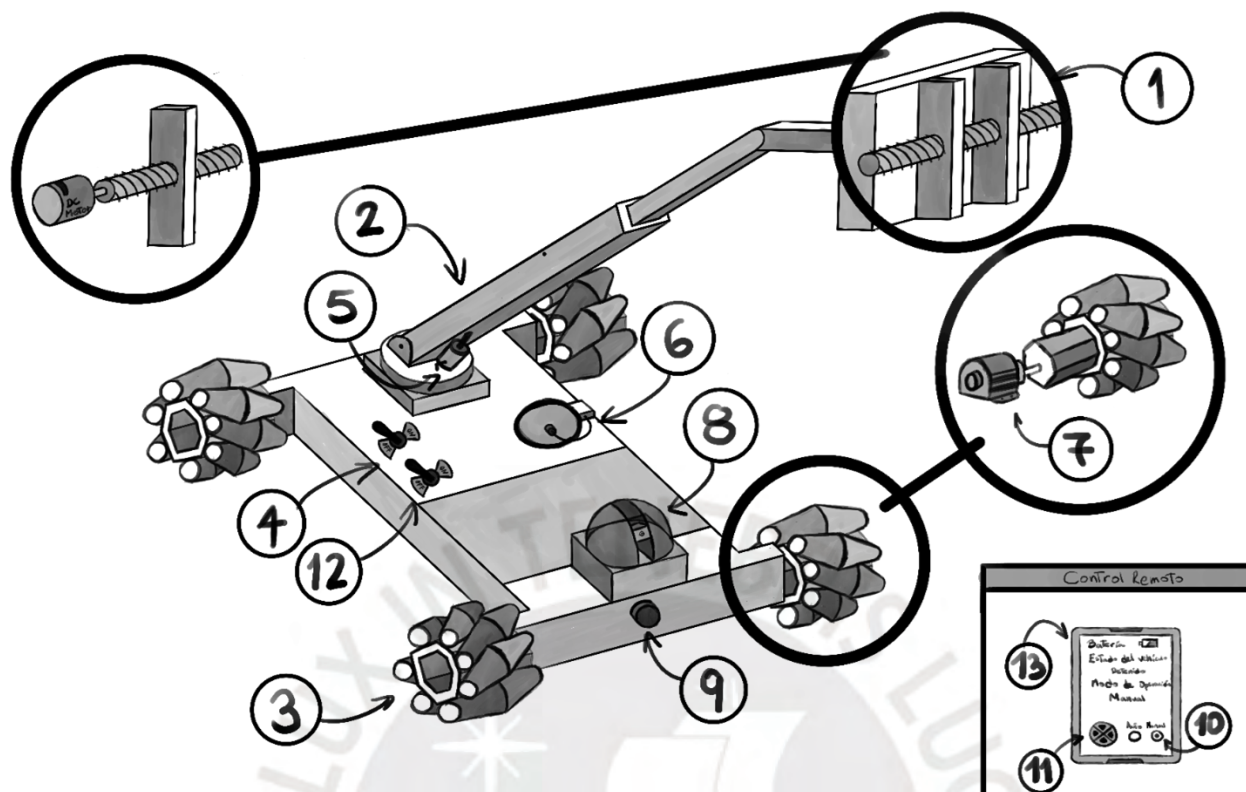


Figura 5.3-5: Concepto de solución 3 (Elaboración Propia)

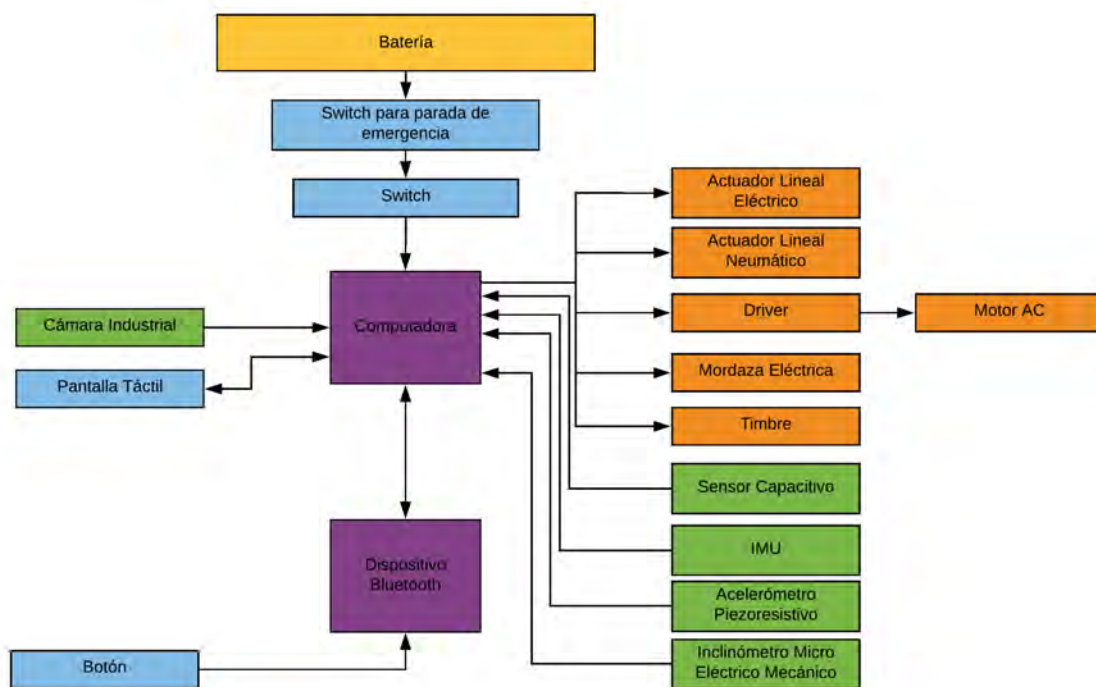


Figura 5.3-6: Arquitectura de Hardware del Concepto 3 (Elaboración Propia)

## 5.5 Evaluación Técnico-Económica

Se realiza una evaluación de los tres conceptos de solución planteados anteriormente, de modo que se pueda sustentar la elección de una solución sobre las otras. Para esto se consideran tanto criterios técnicos como económicos, a los cuales se les asigna un puntaje que cuantifica el grado en que satisfacen el criterio (representado por la letra “p” en la tabla de análisis), en la Tabla 5.3-1 se puede apreciar la escala en base a la cual se califican.

**Tabla 5.3-1: Escala de efectividad de las soluciones (Elaboración Propia)**

Valor	Significado
0	No satisface
1	Mínimamente aceptable
2	Suficiente
3	Bien
4	Muy bien

Además, a cada uno de los criterios se les asigna un peso relativo (representado por la letra “g” en la tabla de análisis), determinado por el diseñador, el significado de cada uno de los valores de los pesos se puede observar en la Tabla 5.3-2.

**Tabla 5.3-2: Pesos relativos (Elaboración Propia)**

Valor	Significado
0	Nada importante
1	Poco importante
2	Importante
3	Muy importante
4	Bastante importante

Con el fin de tener una mejor comprensión de cada uno de los criterios, a continuación, se desarrollan breves descripciones de cada uno.

### 5.5.1 Descripción de los criterios técnicos de la evaluación.

A continuación, se presentan los criterios técnicos, que serán evaluados para cada concepto de solución en base a las escalas de satisfacción de criterios y relevancia en el proyecto.

- Frecuencia de mantenimiento: se refiere a la cantidad de veces que se requiere realizar mantenimiento en la máquina para garantizar su correcto funcionamiento.
- Complejidad: se refiere a la forma en la que los componentes interactúan, la cantidad de elementos que existen, entre otros factores que complican el funcionamiento de la máquina y le dan una mayor posibilidad de fallo.
- Tamaño: volumen que ocupa cada concepto.
- Rapidez: la velocidad con la que la máquina realiza el proceso, que, en este caso, se busca que sea menor al que demorarían en hacerlo personas manualmente.
- Seguridad: grado de seguridad respecto al uso de la máquina de tal manera que se proteja la integridad del operador.
- Robustez contra volcaduras: la resistencia que tiene el sistema a volcarse, se encuentra relacionado al posicionamiento de su centro de masa y como varía al levantar la máquina de soldadura.
- Uso de energía: este criterio analiza el consumo de energía de los componentes, el cual se puede ver reflejado mayormente en el uso de una mayor cantidad de actuadores para su funcionamiento.
- Facilidad de manejo: la facilidad con la que un operador puede manipular la máquina tanto de forma manual como de forma automática.
- Capacidad todoterreno: la facilidad con la que el sistema funciona en terrenos menos favorables, como zonas con terreno suelto o desniveles.

### 5.5.2 Descripción de los criterios económicos de la evaluación.

A continuación, se presentan los criterios económicos, que serán evaluados para cada concepto de solución de la misma forma que los criterios técnicos.

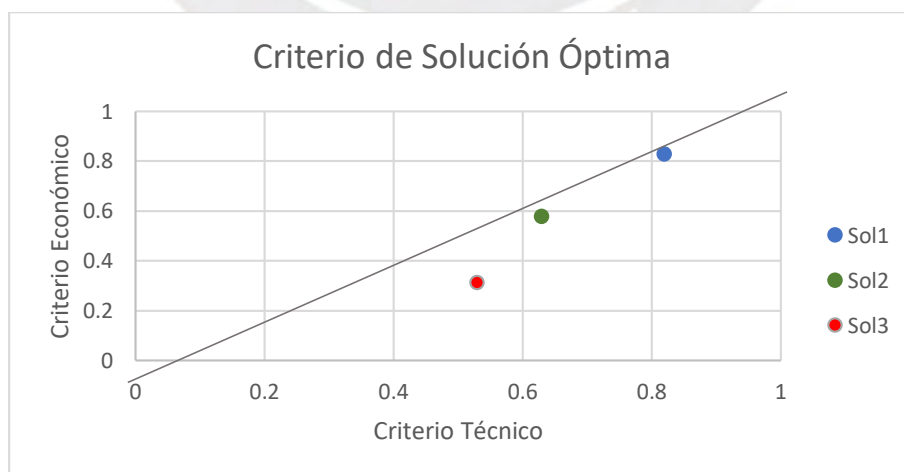
- **Facilidad de adquisición de componentes:** se refiere al grado de facilidad y rapidez con el que se puede conseguir componentes para la fabricación o para repuestos de la máquina.
- **Costo de mantenimiento:** Costo de realizar mantenimiento a cada mecanismo o componente electrónico que requiere la operación.
- **Facilidad de mantenimiento:** hace referencia a con qué tanta frecuencia se debe realizar mantenimiento para poder garantizar un buen funcionamiento y mejor tiempo de vida de la máquina, además del costo de este y del grado de experiencia que requiere el operario para realizarlo.
- **Costo de la tecnología:** se analiza el costo de las tecnologías empleadas en cada uno de los conceptos de solución.
- **Número de piezas:** se analiza el costo implicado en tener una gran cantidad de piezas, las cuales pueden simplificar el desarrollo de la solución, pero aumentar los costos tanto por la adquisición y el mantenimiento de las mismas.

Luego de la valoración de todos los criterios, se realiza el gráfico técnico-económico de las soluciones de la que se observa en la Figura 5.3-1, en el cual se grafican los valores ponderados del criterio técnico y económico. Para conocer la solución óptima, se debe comparar cada una de las soluciones con la recta ideal, la solución que se aproxime más a esta, que en este caso es el concepto de solución 1, lo que lo hace el concepto de solución óptimo.



**Tabla 5.3-3: Análisis de Solución Óptima (Elaboración Propia)**

TÉCNICOS			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Ideal	
Nro	Criterio	g	p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg
1	Frecuencia de mantenimiento	2	3	6	1	2	2	4	4	8
2	Complejidad	2	4	8	2	4	1	2	4	8
3	Tamaño	1	4	4	3	3	2	2	4	4
4	Rapidez	4	3	12	4	16	2	8	4	16
5	Seguridad	3	3	9	2	6	3	9	4	12
6	Robustez contra volcaduras	4	4	16	3	12	1	4	4	16
7	Uso de energía	2	3	6	2	4	1	2	4	8
8	Facilidad de manejo	3	3	9	4	12	2	6	4	12
9	Capacidad Todoterreno	4	3	12	1	4	4	16	4	16
Suma			30	82	22	63	18	53	36	100
Promedio Ponderado			0.83	0.82	0.61	0.63	0.5	0.53	1	1
ECONÓMICOS			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Ideal	
Nro	Criterio	g	p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg
1	Facilidad de Adquisición de Componentes	4	4	16	2	8	2	8	4	16
2	Costo de Mantenimiento	3	3	9	2	6	1	3	4	12
3	Facilidad de Mantenimiento	3	4	12	3	9	1	3	4	12
4	Costo de la Tecnología	4	3	12	2	8	1	4	4	16
5	Número de Piezas	2	2	4	3	6	1	2	4	8
Suma			16	53	12	37	6	20	20	64
Promedio Ponderado			0.8	0.82	0.6	0.58	0.3	0.31	1	1



**Figura 5.3-1: Criterio de Solución Óptima (Elaboración Propia)**

## CONCLUSIONES

- El uso de un sistema de visión es importante para el proceso de automatización del vehículo, dado que este posee suficiente información visual en el entorno para seguir de forma estable el recorrido de los ductos, además de la capacidad de reconocimiento de las bridas de sujeción de las juntas, de tal modo que el vehículo reconozca automáticamente la posición en la que debe colocar la máquina soldadora.
- Se concluye que según las condiciones ambientales de humedad donde se opera y considerando la naturaleza de la electrónica usada dentro del vehículo, es importante el uso de una protección IP67 al menos para parte electrónica, de modo que no se requiera reemplazar las piezas o realizar mantenimientos tan frecuentemente y que de esta forma el sistema puede trabajar de forma continua por un período a pesar de las condiciones de humedad ambiental cercana al 90% y a las lluvias desfavorables.
- Respecto al posicionamiento del robot, debido a que se busca que funcione de forma automática y precisa, se concluye que es importante el uso de un sistema de posicionamiento, como por ejemplo usando un GPS como una guía general y con un apoyo como con un sistema de medición inercial como un IMU para monitorear los movimientos pequeños, para los cuales la precisión del GPS no es suficiente.
- Debido a que el robot trabaja rodeado de personas, se concluye que es importante tanto una implementación de un sistema para detectar obstáculos y un sistema de control manual del robot mediante un mando en caso de emergencia.
- A partir del análisis de las tecnologías realizado se concluye que, si bien la tecnología requerida para desarrollar una máquina como las que son planteadas en los conceptos de solución existe, no existe una aplicación igual o similar a la planteada en este trabajo de

investigación. Por lo que también se puede concluir que mediante este desarrollo conceptual se abre la posibilidad para el desarrollo de una máquina similar.



## BIBLIOGRAFIA

- Actualidad RT (1 de septiembre de 2014). El mayor proyecto del mundo: comienza la construcción del gasoducto ruso-chino Fuerza de Siberia. *Actualidad RT*. Recuperado de <https://actualidad.rt.com/economia/view/138901-putin-fuerza-siberia-gasoducto-china>
- Así será el recorrido del Gasoducto Sur Peruano (30 de julio de 2014). *Diario El Comercio*. Recuperado de <https://elcomercio.pe/economia/peru/sera-recorrido-gasoducto-sur-peruano-172914>
- Arc Machines Inc. (s/f). *Model 15 Large Diameter Pipe Weld Head*. California, EU: Arc Machines, Inc. Recuperado de <http://www.arcmachines.com/products/pipe-welding/model-15>
- American Welding Society Learning. (s.f.). *Welding*. Florida, EU.: *American Welding Society*. Recuperado de <https://awo.aws.org/glossary/welding/>
- Ben-Tzvi, P., & Saab, W. (2019, 17 de mayo). A Hybrid Tracked-Wheeled Multi-Directional Mobile Robot. *Journal of Mechanisms and Robotics*. doi: 10.1115/1.4043599.
- Ben-Tzvi, P., Goldenberg, A. A., & Zu, J. W. (2008, 20 de mayo). Design and Analysis of a Hybrid Mobile Robot Mechanism With Compounded Locomotion and Manipulation Capability. *Journal of Mechanical Design*. doi: 10.1115/1.2918920
- Cajas, A., & Esteban, D. (2014). Desarrollo de un sistema autónomo de detección y apuntamiento a objetos por color mediante el uso de una cámara de video integrada a un microcontrolador (Tesis de pregrado). *Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador*. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7359>
- Clark, A. L. (1978). Scissors lift work platform. Estados Unidos. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/US4114854/en>

Colin, R. (6 de noviembre de 2015). GPS System with IMUs tracks first responders. *Electronic Engineering Times*. Recuperado de

[https://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1259727](https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1259727)

Congreso de la República del Perú. (2006). *Informe Final de la comisión investigadora encargada de la investigación del transporte de gas (gasoducto) del proyecto Camisea, las causas y consecuencias de los reiterados accidentes producidos en el mismo, y la determinación de las responsabilidades Políticas, Administrativas y Penales a que hubiere lugar, así como el estudio y evaluación de los compromisos asumidos en los contratos suscritos (Moción de orden del día N°8675)*. Recuperado de

[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/apoycomisiones/informes.nsf/0f1683791eb39a2005256aff00789023/d2598ad54a1425e3052571950070d493/\\$FILE/InformeC.I.Camisea\(Final\).pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/apoycomisiones/informes.nsf/0f1683791eb39a2005256aff00789023/d2598ad54a1425e3052571950070d493/$FILE/InformeC.I.Camisea(Final).pdf)

Contreras, E. F., & Sánchez, R. (2010). Diseño y construcción de un banco de prácticas en Motores Eléctricos, como apoyo a la asignatura de máquinas II (Título de pregrado). *Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia*. Recuperado de

<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>

DS. No 005\_2012\_TR. Que aprueba el Reglamento de la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (24 de abril de 2012). Sistema Peruano de Información Jurídica.

Recuperado de: [http://spijlibre.minjus.gob.pe/normativa\\_libre/main.asp](http://spijlibre.minjus.gob.pe/normativa_libre/main.asp)

Diario El Comercio. (2014). Mapas de gasoductos en el Perú [Figura]. Recuperado de

<https://elcomercio.pe/economia/peru/sera-recorrido-gasoducto-sur-peruano-172914>

Dunning, G. A. (2005). Introduction to Programmable Logic Controllers. Recuperado de

<https://books.google.com.pe/books?id=9sLBCAAAQBAJ>



- Edmund Optics. (s/f). *USB Cameras*. New Jersey, EU.: Edmund Optics Inc. Recuperado de <https://www.edmundoptics.com/c/usb-cameras/1013/#>
- Edmund Optics. (s/f). *Gigabit Ethernet Cameras*. New Jersey, EU.: Edmund Optics Inc. Recuperado de <https://www.edmundoptics.com/c/gigabit-ethernet-cameras/1016/#>
- Edmund Optics. (s/f). *FireWire Cameras*. New Jersey, EU.: Edmund Optics Inc. Recuperado de <https://www.edmundoptics.com/c/firewire-cameras/1014/#>
- Edmund Optics. (s/f). *Camera Link Cameras*. New Jersey, EU.: Edmund Optics Inc. Recuperado de <https://www.edmundoptics.com/c/camera-link-cameras/1015/#>
- Fell, J. (2017, marzo 1). How to Choose a Machine Vision Camera. *Quality magazine*. Recuperado de <https://www.qualitymag.com/articles/93861-how-to-choose-a-machine-vision-camera>
- FLIR. (s/f). *FLIR Kobra*: FLIR Systems. Recuperado de <https://www.flir.com/products/kobra/>
- Gonzalez, D. J., & Asada, H. H. (2016). Triple Scissor Extender: A 6-DOF lifting and positioning robot. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 847–853. doi: 10.1109/ICRA.2016.7487215.
- Gridling, G. y Weiss, B. (2007). Introduction to Microcontrollers. Recuperado de <http://www.physics.csbsju.edu/~awhitten/phys358/Microcontroller.pdf>
- Germanischer Lloyd Industrial Services. (2007). *Reporte Final*. Recuperado de <http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/uploads/GFGN/REPORTEFINALOct.pdf>
- Gullco. (s/f). Gullco PipeKAT Automated Orbital Pipe Welding System. Recuperado de <https://www.westermans.com/gullco-pipekat-automated-orbital-pipe-welding-system.aspx>

Gullco International Limited Worldwide Welding and Cutting Automation. (2013). Pipe Kat Welding System. Recuperado de <https://catalog.gullco.com/Asset/GD-070%20PK-500%20Linear%20Oscillator.pdf>

Gullco International Limited Worldwide Welding and Cutting Automation. (s.f.). Pipe Welding Carriage- Rigid Track. s.l.: Pipe KAT. Recuperado de <https://catalog.gullco.com/product/orbital-welding/pipe-welding-carriage-pipe-kat-rigid-track>

Institute of Electrical and Electronics Engineers (2014). A survey on comparison of electric motor types and drives used for electric vehicles. En M. Yildirim, M. Polat y H. Kürüm (Presidencia), *International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition*. Conferencia llevada a cabo en la 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, Antalya, Turquía. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/6980715>

Jaimes Serkovic, S. J. (2003). *Proceso de Supervisión y Fiscalización del Medio Ambiente y Social*. Recuperado de <http://www4.congreso.gob.pe/congresista/2001/sjaimes/documentos/audiencias/camisea/CAMISEA-08-05-03-OSINERG.pdf>

Jeffus, L. (2010). *MANUAL DE SOLDADURA GTAW (TIG)*. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=GIV2LXp8RR0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=soldadura+gtaw&ots=NcgdoU8geL&sig=cfkCWAhrq6-m4R14r4k603-AFvw&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=true](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=GIV2LXp8RR0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=soldadura+gtaw&ots=NcgdoU8geL&sig=cfkCWAhrq6-m4R14r4k603-AFvw&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true)

- Kahar, S., Sulaiman, R., Prabuwno, A. S., Ahmad, N. A., Ashri, M., & Hassan, A. (2012, abril 7). *A Review of Wireless Technology Usage for Mobile Robot Controller*. Presentado en IPCSIT vol. 34. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/232613949\\_A\\_Review\\_of\\_Wireless\\_Technology\\_Usage\\_for\\_Mobile\\_Robot\\_Controller](https://www.researchgate.net/publication/232613949_A_Review_of_Wireless_Technology_Usage_for_Mobile_Robot_Controller)
- KOBE STEEL, LTD. (2013, marzo 19). *Vol. 1: Soldadura de circunferencia de Oleoductos. Los insumos de última generación de Kobe Steel cumplen con diversos requisitos*. Recuperado de <https://www.kobelco-welding.jp/espanol/education-center/technical-highlight/vol01.html>
- Leonheart, W. (1974). All terrain vehicle. Estados Unidos. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/US3809004A/en>
- López, E., Isorna, F., Ridao, M. A., Bordons, C., Elfes, A., Hernández, E. (2016). Incremento de la eficiencia energética y autonomía en vehículos no tripulados mediante el uso de sistemas de energía híbridos con pila de combustible. En E. López (Presidencia), The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Conferencia llevada a cabo en el IV Congreso Nacional de I + D en Defensa y Seguridad, Murcia, España. Recuperado de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S096098229770976X>
- MAGNATECH. (s/f). *T-Head 419 Orbital Weld Heads for Multi-Pass GTAW Pipe Welding*: MAGNETECH LLC. Recuperado de <http://www.magnatechllc.com/head-t-head.php>
- MAGNATECH. (s/f). *Pipeliners II 609 Orbital Weld Head for Multi Pass GMAW/FCAW Pipe Welding*: MAGNETECH LLC. Recuperado de <http://www.magnatechllc.com/head-pipeliners.php>

- MAGNATECH. (s.f.). T- head 419. Recuperado de <http://www.magnatechllc.com/Brochures/t-head-419.pdf>
- MAPFRE Global Risks. (2018). *Oleoductos y gasoductos, las venas de la economía*. Recuperado de <https://www.mapfreglobalrisks.com/gerencia-riesgos-seguros/articulos/energia/>
- MILREM ROBOTICS. (s/f). *THEMIS transport*. Tallinn, Estonia: Milrem AS. Recuperado de <https://milremrobotics.com/themis/>
- OSINERG. *Concesionarios - Contratos de Licencia y Concesión*. Recuperado de <http://www2.osinerg.gob.pe/PaginaOsinergmin/GasNatural/Contenido/conce002.html>
- OSINERG. *Consumidores - Comerciales e industriales*. Recuperado de [http://www2.osinerg.gob.pe/PaginaOsinergmin/GasNatural/Contenido/cont\\_004.html](http://www2.osinerg.gob.pe/PaginaOsinergmin/GasNatural/Contenido/cont_004.html)
- Ochoa, A. V., & Uribe, J. A. U. (1997). Scissors lift platform with electronic control. Estados Unidos. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/US5695173A/en>
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K.-H. (2013). Engineering Design, A Systematic Approach. In Springer (Ed.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (3era ed., Vol. 53). doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Peláez Recios, M. L. (2015). *UF2015: Manejo de máquinas agrícolas de accionamiento y tracción*. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=U7BWDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Peña, C. (2011). Estudio de baterías para vehículos eléctricos (Tesis de pregrado). *Universidad Carlos III de Madrid, España*. Recuperado de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/11805>

Principales accidentes en oleoductos y gasoductos en el mundo (26 de diciembre de 2006).

*Diario Perú 21*. Recuperado de <http://archivo.peru21.pe/noticia/36140/principales-accidentes-oleoductos-gasoductos-mundo>

Redacción Gestión. (29 de septiembre de 2015). Proceso de soldadura de ductos del Gasoducto Sur Peruano suma 208 juntas soldadas. *Diario Gestión*. Recuperado de <https://gestion.pe/economia/empresas/proceso-soldadura-ductos-gasoducto-sur-peruano-suma-208-juntas-soldadas-101195-noticia/>

Rowe, R., & Jeffus, L. (2008). *Manual de soldadura GMAW (MIG-MAG)*. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=lvltVXsi1-EC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Rodríguez, M. (2017). ¿Qué son las Pilas de combustible?. *Revista digital INESEM*. Recuperado de: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/pilas-combustible/>

Salerno, M., Firouzeh, A., & Paik, J. (2017). A Low Profile Electromagnetic Actuator Design and Model for an Origami Parallel Platform. *Journal of Mechanisms and Robotics*, 9(4). doi: 10.1115/1.4036425.

SMP Robotics. (s/f). *Outdoor security and inspection robots*. California, EU: SMP Robotics. Recuperado de <https://smprobotics.com/>

Serimax. (2017). *Market Sectors - Case Studies*. Recuperado de <http://www.serimax.com/en/market-sectors-premium-welding-solutions/case-studies/>

Transportadora del Gas del Perú (4 de julio de 2016). *Nuestra compañía*. San Isidro, Lima: Magia digital. Recuperado de <http://www.tgp.com.pe/principal/categoria/nuestra-compania>

Transportadora del Gas del Perú (13 de mayo de 2015). *Proyecto Camisea*. San Isidro, Lima: Magia digital. Recuperado de <http://www.tgp.com.pe/principal/categoria/proyecto-camisea>



TRI TOOL. (s/f). *AdaptARC Welding Equipment: Orbital Welding Machine Engineered for Versatility*. California, EU.: TRI TOOL. Recuperado de <https://tritool.com/all-products/welding-equipment/>

Villa-Medina, F., Gutiérrez, J., & Porta-Gándara, M. Á. (2009). Vehículo robótico: Autónomo y teleoperado con una PDA. *Ingeniería mecánica, tecnología y desarrollo*, 3(2), 46–54. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1665-73812009000100002&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1665-73812009000100002&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Wendland, A. *Manual TIG welding versus automated orbital TIG welding*. Recuperado de <https://www.axxair.com/en/blog/manual-tig-welding-versus-automated-orbital-tig-welding>

Wood, L. S. (1940). Dump truck mechanism. Estados Unidos. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/US2226213/en>

Yoon, B., Park, M., & Kim, J. (2006). UGV (Unmanned Ground Vehicle) Navigation Method using GPS and Compass. *2006 SICE-ICASE International Joint Conference*, 3621–3625. doi: 10.1109/SICE.2006.314891.