



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BRAZO ROBÓTICO
INDUSTRIAL PARA PROCESO DE SOLDADURA SMAW.**

Autora:

Alimar Oriana Granda De Gioia

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BRAZO ROBÓTICO INDUSTRIAL PARA
PROCESO DE SOLDADURA SMAW.**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Autora:

Alimar Oriana Granda De Gioia

C.I: 27.249.045

Tutor:

Ing. Fredy Barragán

C.I.:11.151.678

San Diego, septiembre de 2022



ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERÍA para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO INDUSTRIAL PARA EL PROCESO DE SOLDADURA SMAW

Realizado por el (la) Br. ALIMAR ORDANA GRANDA DE SOTA
C.I. N° 27249045 cursante de la carrera de MECÁNICA

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: FREDDY BARLAGÁN
C.I. 11151678

El Jurado

Jurado
Nombre: GIOVANNI PIZZELLA P.
C.I.: 4455859

Jurado
Nombre: Wilmar Sans
C.I. 7130486

Fecha: 10 / 10 / 2022






REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN PÚBLICA
DEL TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, Ing. Fredy Barragán Suescún, portador de la cédula de identidad N° 11.151.678, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por la ciudadana Alimar Oriana Granda De Gioia -, portadora de la cédula de identidad N° 27.249.045, titulado **"PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BRAZO ROBÓTICO INDUSTRIAL PARA PROCESO DE SOLDADURA SMAW."**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 16 días del mes de septiembre del año dos mil veintidós.



Ing. Fredy Barragán Suescún
C.I: 11.151.678

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DECANATO DE INGENIERÍA



FI N 001 2022-2CR TG

Valencia, 08 de junio de 2022

Ciudadana:
GRANDA DE GIOIA, ALIMAR ORIANA
27.249.045
Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería, en su reunión N° 6-2022 de fecha 12/05/2022 aprobó el proyecto de grado titulado:

Propuesta de diseño de un brazo robótico industrial para el proceso de soldadura SMAW.

Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
ing. Fredy Barragán Suescún, titular de la cédula de identidad V-11.151.678



Atentamente

Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.
Decano de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado

AGRADECIMIENTOS

Es para mí una gran satisfacción poder dedicar a Dios y a cada uno de mis seres queridos este proyecto ya que han sido mis pilares para salir adelante, A mis padres y hermanas por apoyarme y hacer todo lo posible para que pudiese cumplir con mis metas planteadas, así como también al resto de mi familia.

A mí querida Universidad José Antonio Páez, pero, sobre todo, a mi Facultad de Ingeniería Mecánica, por haberme acogido en sus aulas para plasmar en mí nuevos conocimientos, útiles para mi vida profesional.

Al Ing. Fredy Barragán por ser mi maestro tutor en el desarrollo de esta investigación, quien me supo guiar con profesionalismo y dedicación para transmitirme todos sus conocimientos sabios y culminar el proyecto con éxito.

Al Ing. Donato Romanello, por apoyarme y guiarme en mi proceso de pasantías, y en todo el proceso de mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE GRAFICOS.....	xii
RESUMEN INFORMATIVO.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Formulación del Problema.....	4
1.3 Objetivos de la Investigación.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Justificación.....	5
1.5 Alcance y Limitaciones.....	6
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	7
2.2 Bases Teóricas.....	9
2.2.1. Soldadura SMAW.....	10
2.2.2. Robot.....	11
2.2.3. Brazo Robótico.....	11
2.2.4. Tipos de brazos Robóticos.....	11
2.2.5 Mecatrónica.....	16
2.2.6 Leyes de la robótica.....	16
2.3 Bases Legales.....	17
2.3.1. Norma Venezolana COVENIN 504A-83. Calificación de soldadores y operadores de máquinas de	

soldar.....	17
2.3.2. Norma Venezolana COVENIN 979-78. Medidas de seguridad en el proceso de soldadura al arco para distintos riesgos.....	17
2.4 Definición de Términos.....	17
2.5 Cuadro de Operacionalización de Variables.....	18
III MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Tipo de Investigación.....	19
3.2 Diseño de la Investigación.....	19
3.3 Nivel de la investigación.....	20
3.4. Población y muestra.....	20
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	20
3.6. Fases metodológicas.....	22
3.7. Confiabilidad de la investigación.....	22
IV RESULTADOS	
4.1 Fase I: Estudio de los pasos que se llevan a cabo en los procesos de soldadura para determinar requisitos necesarios en el diseño de un brazo robótico.....	24
4.2 Fase II: Selección de la opción más viable para el diseño de brazo robótico.....	39
4.3 Fase III: Diseño de un brazo robótico que permita automatizar las tareas que se llevan a cabo en el proceso de soldadura.....	40
4.4 Fase IV: Evaluación de la viabilidad económica, técnica, operativa, ambiental y social del brazo diseñado.....	57
CONCLUSIONES.....	60

RECOMENDACIONES.....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	62
ANEXOS.....	65

LISTA DE CUADROS

DESCRIPCIÓN

CUADRO		pp.
1	Operacionalización de las Variable.....	15
2	Diferencias de Corriente.....	33
3	Criterio de Observaciones.....	32
4	Expertos a entrevistar.....	33
5	Entrevista Estructurada # 1.....	34
6	Entrevista Estructurada # 2.....	36
7	Entrevista Estructurada # 3.....	37
8	Cuadro de restricciones.....	42
9	Ponderación de criterios.....	43
10	Evaluación de criterios.....	43
11	Evaluación de criterio N°1.....	44
12	Evaluación de criterio N°2.....	44
13	Evaluación de criterio N°3.....	44
14	Evaluación de criterio N°4.....	44
15	Sumatoria brazo robótico 1.....	45
16	Sumatoria brazo robótico 2.....	45
17	Denavit-Hartenberg (DH).....	58
18	Ventajas y Desventajas viabilidad social.....	63

LISTA DE FIGURAS

DESCRIPCIÓN

FIGURA		pp.
1	Soldadura con tecnología SMAW.....	3
2	Soldadura SMAW.....	10
3	Brazo robótico.....	11
4	Robot Cartesiano	12
5	Robot Esférico	13
6	Robot Cilíndrico	13
7	Robot SCARA.....	14
8	Robot Antropomórfico o Articulad.....	15
9	Robot Delta.....	15
10	Metalización.....	24
11	Equipo Básico de Soldadura.....	25
12	Equipo de soldadura.....	25
13	Clasificación AWS A5.1 para Electroodos	26
14	Equipo de Protección.....	27
15	Brazo soldador por Arco	30
16	Brazo soldador por Laser.....	31
17	Robot diseño A	40
18	Robot diseño B.....	41
19	Robot diseño C.....	41
20	Base de robot en 2D	46
21	Base de robot en 3D.....	46
22	Cuerpo de robot en 2D	47
23	Cuerpo de robot en 3D.....	47
24	Hombro de robot en 2D	48
25	Hombro de robot en 3D.....	48
26	Codo de robot en 2D	49

27	Codo de robot en 3D.....	49
28	Ante efector de robot en 2D	50
29	Ante efector de robot en 3D.....	50
30	Plancha de base de robot en 2D	51
31	Plancha de base de robot en 3D.....	51
32	Riel de robot en 2D	52
33	Riel de robot en 3D.....	52
34	Cilindro de riel de robot en 2D	53
35	Cilindro de riel de robot en 3D.....	53
36	Ensamble de robot en 3D	54
37	Ensamble de brazo robótico en 3D	54
38	Eslabones y articulaciones	55
39	Señalización de motores... ..	56

LISTA DE GRÁFICOS

DESCRIPCIÓN

CUADRO		pp.
1	Diagrama de Ishikawa.....	39
2	Diagrama de Pareto.....	39



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BRAZO ROBÓTICO INDUSTRIAL PARA PROCESO DE SOLDADURA SMAW.

Autora: Alimar O. Granda De G.

Tutor: Ing. Fredy Barragán

Fecha: septiembre 2022

RESUMEN INFORMATIVO

El proyecto de Trabajo de grado que se presenta a continuación tiene como objetivo principal diseñar un brazo mecánico capaz de realizar eficazmente el proceso de soldadura SMAW, y el desarrollo de sus objetivos específicos permitió estudiar, analizar, diseñar y evaluar el diseño propuesto. El proyecto está adscrito a la línea de investigación de Avances Tecnológicos en tecnologías de información y comunicación; y teniendo la necesidad de mejorar tiempos, calidad y el gasto de materia prima en el proceso de soldadura. El diseño de la investigación en el presente estudio es de proyecto factible, de tipo documental y de campo, ya que se estudió y observo un fenómeno en su contexto natural y, así mismo, obtener información respecto al mismo, también con un nivel de investigación descriptiva, ya que su finalidad es describir el proceso del fenómeno en estudio y en lo referente a la muestra es de tipo censal, tomando la totalidad de la población en estudio en el área de la industria, buscando así la mejor viabilidad para la realización del Diseño del brazo robótico soldador. La implementación del brazo robótico soldador permite optimizar los procesos de producción, ya que generará beneficios para en la industria en cuanto tiempos, la calidad y el gasto de materia prima.

Descriptor: Soldadura, Brazo robótico, Mecanismo, Metalmecánica

INTRODUCCIÓN

Hasta hace poco tiempo los procesos de soldadura se realizaban de forma manual pero debido al incremento de los procesos productivos se ha migrado a sistemas automatizados. La soldadura robotizada puede considerarse como un sistema de fabricación flexible, al que se está adaptando un número creciente de procesos. Estos sistemas son capaces de asegurar la integridad de la soldadura a través de controladores electrónicos que sincronizan el funcionamiento de la antorcha con las cualidades propias de la pieza a soldar, garantizando resultados superiores a los obtenidos en procesos manuales; además, dichos controladores identifican rápidamente errores como falta de penetración o imperfecciones.

De igual manera, la eficiencia de la producción es un factor determinante, pues con un tiempo mínimo de configuración y alta velocidad, un sistema automático o semiautomático podrá superar rápidamente a la soldadura manual y así reducir los márgenes de error humano al igual que los costos extra de mano de obra.

En el capítulo I se detalla el problema de investigación, explicando a fondo las causas y consecuencias que lo originan, para encontrar la solución más fiable para la determinación de la propuesta.

En el capítulo II se resume cada uno de los temas requeridos para una correcta adquisición de conocimientos previos en lo que se refiere a la rama de la soldadura, que garanticen el incremento del tema a solucionar y que respalden al proyecto.

En el capítulo III se determina los tipos de investigaciones que se realizarán para la recopilación de la información, sirviendo de guía para el desarrollo de la propuesta planteada.

En el capítulo IV se detallan los resultados obtenidos en las 4 fases previamente estudiadas.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Uno de los procesos vitales en la industria metalmecánica acá en Venezuela es la aplicación de soldadura en la unión o fijación de piezas en los elementos metálicos a fabricar. Por consiguiente, este proceso también es indispensable para la fabricación de diseños de productos con geometrías complejas y que requieren niveles altos de resistencia a cargas o esfuerzos. La soldadura SMAW es una soldadura para zonas con acceso restringidos por ejemplo en la industria naval, contracción pesada y la soldadura en campo, se utiliza este tipo de soldadura sobre todo para la unión de níquel con sus aleaciones, cobre y aceros.

El implantar la soldadura automatizada en una línea de producción o de fabricación para aumentar la productividad y el rendimiento resulta decisivo en una organización. La velocidad puede multiplicarse entre cinco y seis veces mediante la automatización de algunos de los procesos de soldadura. Por razones de mayor productividad, calidad y rentabilidad, el proceso SMAW se ha ido reemplazando gradualmente. Sin embargo, la capacidad del proceso SMAW para lograr soldaduras en zonas de acceso restringido significa que todavía encuentra un uso considerable en ciertas situaciones y aplicaciones. La construcción pesada, tal como en la industria naval, y la soldadura «en campo» se basan en gran medida en el proceso SMAW.

Y aunque dicho proceso encuentra una amplia aplicación para soldar prácticamente todos los aceros y muchas de las aleaciones no ferrosas, se utiliza principalmente para unir aceros, tales como aceros suaves de bajo carbono, aceros de baja aleación, aceros de alta resistencia, aceros templados y revenidos, aceros de alta aleación, aceros inoxidable y diversas fundiciones. El proceso SMAW también se utiliza para unir el níquel y sus aleaciones y, en menor grado, el cobre y sus aleaciones, aunque rara vez se utiliza para soldar aluminio. (Ver figura 1)



Figura 1: Soldadura con tecnología SMAW

Fuente: De Máquinas y Herramientas (2018)

El factor principal que hace de este proceso de soldadura un método tan útil es su simplicidad y, por lo tanto, su bajo precio. A pesar de la gran variedad de procesos de soldadura disponibles, la soldadura con electrodo revestido no ha sido desplazada del mercado. La sencillez hace de ella un procedimiento práctico; todo lo que necesita un soldador para trabajar es una fuente de alimentación, cables, una porta electrodo y electrodos. El soldador no tiene que estar junto a la fuente y no hay necesidad de utilizar gases comprimidos como protección. El procedimiento es excelente para trabajos, reparación, fabricación y construcción.

Los daños para la salud que pueden ocasionar los trabajos de soldadura son graves y resultan prácticamente irreversibles una vez que se han detectado. Los trabajadores que desarrollan tareas de este tipo, por el grado de exposición a ruidos, rayos ultravioletas y gases peligrosos tienen que utilizar, necesariamente, elementos de protección personal que, como bien se sabe, desempeñan un rol complementario de las medidas colectivas que sobre el particular deben aplicarse en los distintos ámbitos laborales. Además, estos trabajadores en muchas ocasiones se ven forzados a colocarse en posturas o posiciones incómodas que pueden provocar signos de estrés en los órganos de apoyo o movimiento, en la mayoría de casos se presenta en la espalda, el cuello y los hombros

El revestimiento de los electrodos se constituye la parte que reviste al núcleo del electrodo. Los elementos más comúnmente usados como revestimientos son: celulosa, sales

de potasio, silicatos de aluminio y de manganeso, ferro manganeso, silicato de sodio, titanio y rutilo, polvo de hierro y óxido de hierro. Estos materiales funden al mismo tiempo que el núcleo y tiene como misión mejorar propiedades metalúrgicas y la calidad del cordón de soldadura. Las funciones principales del revestimiento del electrodo al momento de ejecutar un buen cordón de soldadura son:

- Actuar como limpiador y desoxidante del material base durante la soldadura.
- Operar como estabilizador del arco eléctrico, disminuyendo las salpicaduras.
- Influir directamente en la penetración del cordón de soldadura.
- Romper las tensiones superficiales de las gotas del metal de aporte, permitiendo que estas se fusionen homogéneamente con el material base.
- Formar una capa de escoria de protección del cordón de soldadura caliente contra la oxidación.
- Ayudar a dar forma al cordón de soldadura.
- Evitar el rápido enfriamiento del cordón de soldadura, gracias a la protección de la capa de escoria.
- Posibilitar, con el uso de elementos adicionales, la obtención de un cordón de soldadura con características especiales.
- Influir en la cantidad de aportación del material de soldadura.

El soldar y cortar, son actividades peligrosas que representan una combinación única de riesgos tanto para la seguridad como para la salud a los empleados en muchas industrias. Proteger a los empleados cuando desempeñan operaciones de soldadura depende de entender los peligros involucrados y las medidas apropiadas para poder controlarlos. El control de los peligros relacionados con la soldadura incluye evitar las lesiones a los ojos, usar protección respiratoria, ventilación del área de trabajo, usar ropa protectora, y contar con equipo seguro para usar

1.2 Formulación Del Problema.

¿Cómo desarrollar actualizaciones en los parámetros de los procesos de soldadura SMAW?

1.3 Objetivos De Investigación.

1.3.1 Objetivo General.

- Diseñar un brazo mecánico capaz de realizar eficazmente el proceso de soldadura SMAW.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudiar los pasos que se llevan a cabo en los procesos de soldadura para determinar requisitos necesarios en el diseño de un brazo robótico.
- Seleccionar la opción más viable para el diseño de brazo robótico.
- Diseñar un brazo robótico que permita automatizar las tareas que se llevan a cabo en el proceso de soldadura.
- Evaluar la viabilidad económica, técnica, operativa, ambiental y social del brazo diseñado.

1.4 Justificación de la investigación

Actualmente la cadena metalmeccánica es una de las actividades manufactureras más importantes de América latina, y en Venezuela representa parte del proceso de desarrollo económico. En vista de que las empresas de procesos de soldadura poseen muchas tareas repetitivas y que dichas tareas poseen ciertas consecuencias en el rendimiento humano, incrementando el margen de error se propone un brazo robótico ya que este permitirá automatizar el proceso de ensamblaje, como también podrá realizar actividades repetitivas cumpliendo con los lineamientos de producción y teniendo un mayor tiempo de trabajo eficiente.

Razón por la cual, es de vital importancia innovar en los procesos y al país a la globalización con el fin de mantener un nivel de competitividad alto por medio de la automatización y sistemas de alta tecnología. Con la elaboración del sistema que se plantea, adicionalmente se mejoran las condiciones laborales de los operarios al reducir los movimientos repetitivos que se pueden presentar en el proceso actual.

La implementación de un brazo robótico para los procesos de soldadura aumenta significativamente el rendimiento de la operativa a diferencia de un operario, los brazos robóticos pueden repetir la misma tarea todo el tiempo que sea necesario como también optimizar y dotar de eficiencia a los procesos complejos ya que poseen una gran precisión disminuyendo así el margen de error.

Como resultado en la automatización de procesos se disminuirán los costos de operación debido a enfermedades inesperadas o urgentes por seguridad industrial, se

minimizarán los costos de operación y mantenimiento; aumentando de esta manera los beneficios de la actividad industrial en la empresa, también se disminuirán problemas de calidad y desperdicios, permitiendo una producción continua para cumplir con los tiempos de entrega de los clientes.

1.5 Alcance y limitaciones.

Alcance:

El diseño del brazo robótico no será capaz de manipular al 100% un objeto tangible, únicamente mostrará su funcionamiento para el proceso de soldadura SMAW.

- Mejoramiento de tiempo.
- Mejoramiento del proceso de soldadura.
- Reducción en gastos de materia prima.

Limitaciones:

- Una vez programados para una tarea no son capaces de realizar ninguna otra adicional.
- El diseño del brazo robótico no será capaz de manipular al 100% un objeto tangible, únicamente mostrará su funcionamiento y su lenguaje de programación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÒRICO

2.1 Antecedentes

El uso de sistemas de un robot en la industria para completar las funciones requeridas en las últimas décadas, la precisión extremadamente alta ha ido en aumento. El desarrollo de estos sistemas está centrarse en mejorar determinados aspectos, como la resistencia a distintos trabajos condiciones, precisión de movimiento, versatilidad (procesamiento, Corte, taladrado, etc.), adaptabilidad e independencia para diferentes entornos de trabajo su funcionamiento, es decir, tiene la capacidad de modificarse para el desempeño requerido.

A continuación, se presentaron una serie de artículos de investigación, utilizándolo como principal fuente de información y verificar su estructura teórica y diseño, y analizar los aportes en base a las variables utilizadas en los objetivos establecidos en la investigación.

Torres, J., Yate J. y López, S. (2020). Egresados de la Universidad “Santo Tomas” – (Santander, Colombia), realizaron una investigación titulada: **Diseño de brazo robótico remoto para reducir crisis en el campo medico promoviendo el distanciamiento social en el marco de la contingencia sanitaria del COVID-19.** Para optar al título de Ingeniero Mecánico. El objetivo de éste proyecto fue diseñar un brazo robótico a control remoto o con la ayuda del personal médico, para prevenir el impacto grave de la infección en COVID-19 entidades sanitarias públicas y privadas del país. Se usó esto para generar una propuesta innovar para el desarrollo de la productividad en el campo de la salud. Esto comenzará desde en las siguientes fases, la primera donde se realizó una evaluación preliminar de las operaciones número de brazos robóticos que se han utilizado para inspecciones a nivel internacional usuarios médicos, porque esta es una máquina cada vez más importante la importancia de una inspección eficaz; por esta razón, este beneficio un nuevo modelo de obtención de información suficiente para la realización de tecnología a escala global y el funcionamiento de la máquina.

Esta investigación aporta información para la presente investigación de la mano de un campo como lo es la salud, lo cual se desliga un poco de la soldadura, pero, muchas de estas

piezas y movimientos proporcionan una visión análoga que se procesan en líneas de producción de soldadura para la fabricación de distintos equipos médicos.

Así mismo, Morales, k. Hoyos y C. García, J. (2019). Egresados de la “Universidad nacional experimental del Táchira”- (Venezuela). Realizaron una investigación titulada: **Diseño y optimización de la estructura mecánica de un brazo robótico antropomórfico desarrollado con fines educativos.** Para optar al título de Ingeniero Mecánico. El objetivo fue presentar un diseño de la estructura mecánica del brazo robótico. Personificación de cuatro grados de libertad con fines didácticos. El proyecto parte de la fase de desarrollo. El concepto recibió seis propuestas destinadas a satisfacer las necesidades del cliente; y fue ejecutado utilizando las especificaciones del producto como referencia, seleccionando el concepto a desarrollar.

Esta investigación a igual aporta al diseño, actualización y optimización del brazo robótico para poder ser desarrollado en centros educativos y de enseñanzas para las personas que se quieran desarrollar en esta área de la mejor manera.

Por su parte, Montenegro G., Yaguachi L., (2020) en su trabajo especial de grado titulado: **“Diseño, construcción y control de un prototipo de brazo robótico antropomórfico para la soldadura por punto de diferentes figuras, mediante el uso de cinemática inversa y visión artificial.”** Egresados de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito para optar por el título de Ingenieros Mecánicos: El proyecto técnico consistió en el diseño, construcción y control de un prototipo de brazo robótico antropomórfico de tres grados de libertad para la soldadura de punto de piezas metálicas, mediante la obtención de las coordenadas de los puntos de interés utilizando visión artificial. El proyecto utilizó amplios conocimientos de mecánica, electrónica y programación para automatizar de manera eficaz las funciones que realiza el prototipo. En este trabajo se detalla paso a paso el diseño y la construcción de cada una de sus partes. También se realiza el estudio del modelo cinemático inverso del brazo robótico para el cálculo de los ángulos de giro de cada servomotor para que el efector final se coloque en una coordenada o punto establecido.

Esta investigación también aportó amplios conocimientos de la mecánica al desarrollar de manera eficaz un dispositivo desarrollándose en el área de los procesos de la soldadura.

Por su parte, Baez C., Maya D (2020) tituló su trabajo de investigación **“Desarrollo de metodología de programación en procesos de soldadura robotizada aplicado a geometrías complejas a partir de modelos CAD 3D, optimizando tiempo de programación y ejecución.”** Para optar al título de Ingeniero Mecánico. Se realiza una investigación sobre volúmenes complejos, post procesadores, generación y programación de trayectorias con un brazo robótico para aplicación de soldadura

Esta investigación aporta y desarrolla metodología a la investigación de este trabajo de grado, referentes al proceso de soldaduras robotizada dándole así mayor amplitud en nuestro problema que es la soldadura.

Finalmente, Arias D., Vilema M., (2020) en su trabajo especial de grado titulado: **“Elaboración de un prototipo de brazo robótico industrial didáctico automatizado para proceso de soldadura GMAW.”** Egresados de la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo en Ecuador para optar al título de Ingeniero Mecánico, La elaboración de un prototipo de brazo robótico soldador es una de las formas más creativas de promover la enseñanza a los estudiantes e inducir al conocimiento de los robots industriales. Para su diseño y construcción se consultó los diferentes modelos de brazos robóticos soldadores existentes en el mercado obteniendo la mejor alternativa de guía y por su necesaria precisión trabaja con 6 grados de libertad

Y finalmente esta investigación nos aportó ideas al diseño y proyección en el área de la producción de soldadura, buscando como resultado una mejor guía y precisión en esta investigación.

2.2 Bases Teóricas

En este apartado se explicará un concepto muy importante que sirve como la principal línea de investigación por la cual se rige este trabajo de investigación, dicho esto, este concepto se conoce como “Soldadura SMAW”.

La teoría cinética molecular establece que la materia está compuesta de moléculas en constante movimiento y que cuando se le suministra calor, el movimiento de aquéllas aumenta en función de la temperatura.

La mecánica newtoniana o mecánica vectorial es una formulación específica de la mecánica clásica que estudia el movimiento de partículas y sólidos en un espacio euclídeo tridimensional. Aunque la teoría es generalizable, la formulación básica de la misma se hace

en sistemas de referencia inerciales donde las ecuaciones básicas del movimiento se reducen a las Leyes de Newton, en honor a Isaac Newton quien hizo contribuciones fundamentales a esta teoría.

El proceso de la soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido, conocido por sus siglas en inglés como SMAW (Shielded Metal Arc Welding), comienza con el establecimiento y mantenimiento del arco entre el extremo del electrodo y la pieza a soldar. Conseguida la estabilización del arco, el calor generado va fundiendo progresivamente tanto el revestimiento como la varilla metálica del electrodo, sirviendo a su vez la combustión del revestimiento para originar una atmósfera protectora que impide la contaminación del material fundido.

2.2.1 Soldadura SMAW

Este tipo de soldadura, popular por su bajo costo, recibe este nombre debido a que se crea un arco voltaico entre el metal que se está soldando con autógena durante el proceso y el electrodo del soldador, creado por una fuente de alimentación para soldadura. (Ver figura 2)

Este arco voltaico va a calentar el metal hasta que llegue a su punto de fusión, el arco voltaico calienta el metal hasta su punto de fusión. La soldadura de arco es muy popular por su bajo costo. Entre los tipos de soldadura de arco que podemos encontrar, están:

- Tipos de soldadura por arco eléctrico.
- Arco blindado del metal Soldadura MIG Flujo tubular
- Gas inerte de Tungsteno



Figura 2: Soldadura SMAW

Fuente: Revista de robots (2019)

2.2.2 Robot

Según Ollero (2001) “En el término robot confluyen las imágenes de máquinas para la realización de trabajos productivos y de imitación de movimientos y comportamientos de seres vivos.” (p. 1)

Además, los robots actuales son obras de ingeniería, por lo que han sido diseñados con propósitos específicos como producir bienes y servicios o explotar recursos naturales.

2.2.3 El brazo robótico

Según Ruiz-Velasco (2007) sirve para mover la mano y tomar o posicionar objetos. El espacio de trabajo y de alcance del brazo robótico, depende de su estructura mecánica.” Esto significa que el brazo transporta la carga y debe tener la posibilidad de moverse para darle funcionalidad también a la mano. (p. 92)

Donde infieren sus diferentes partes, se unen y conectan para hacer sus movimientos de rotación y traslación. Al usar estos movimientos estos brazos incrementan su capacidad motriz y pueden imitar el movimiento humano requerido para ensamblaje de piezas. Incluso se pueden realizar tareas más delicadas. Entre ellas, la soldadura de piezas o diferentes estructuras. (Ver figura 3)



Figura 3: Brazo robótico

Fuente: Esneca Business School (2019)

2.2.4 Tipos de brazos robóticos

Una vez que entendemos qué es esta herramienta, continuamos discutiendo los tipos de brazos robóticos que se pueden encontrar en la industria y las fábricas. Estos promueven el trabajo de los empleados de la industria y mejoran la moral Las horas de trabajo de estas

máquinas son casi continuas y mejoran el rendimiento de las máquinas. Por tanto, permiten realizar tareas complejas de traslado, manipulación de objetos, productos químicos, piezas, etc. Es caro o peligroso para los humanos.

2.2.4.1 Robot cartesiano

Los robots cartesianos (RRR) son también conocidos como robots pórticos o lineales. Según Reyes (2011) “el modelo cinemático del robot cartesiano es más sencillo en contraste con otros, ya que presenta características lineales. Este tipo de robot es útil en graficadores, taladros automáticos y plotters.” (p. 243)



Figura 4: Robot Cartesiano.

Fuente: SICMA21 (2021)

2.2.4.2 Robot esférico o polar

Los robots esféricos (RRP), Según Reyes (2011) “El nombre de esta configuración deriva del hecho que la posición del extremo final puede ser programada en coordenadas esféricas.” (p. 238)

También conocido como robot móvil esférico, o robot con forma de bola es un robot móvil con forma esférica externa. Un robot esférico generalmente está hecho de una carcasa esférica que sirve como cuerpo del robot y una unidad de conducción interna (IDU) que permite que el robot se mueva.



Figura 5: Robot Esférico.

Fuente: SICMA21 (2021)

2.2.4.3 Robot cilíndrico

Sus ejes forman un sistema de coordenadas de círculos concéntricos que le permiten efectuar tareas como la manipulación de máquinas. Pero, adicionalmente pueden realizar funciones de soldadura de punto. También manejan maquinaria de fundición a presión y operaciones de ensamblaje.

Según Reyes (2011) “Su estructura mecánica es compleja y su espacio de trabajo es la porción de un cilindro hueco... El origen del sistema de referencia cartesiano para el robot en la configuración cilíndrica se ubica en la articulación de la base.” (p. 241)



Figura 6: Robot Cilíndrico.

Fuente: SICMA21 (2021)

2.2.4.5 Robot SCARA

Son brazos de trabajo pesado, comúnmente de gran tamaño. Según Reyes (2011) “es un brazo planar antropomórfico de dos articulaciones rotacionales para la base y hombro,

respectivamente, que se mueve en un plano horizontal; la tercera articulación es prismática.”
(p. 236)

En conclusión, podemos decir que el brazo robótico es una innovación tecnológica de vanguardia, que cambió el mundo desde su fabricación y que está presente en multitud de industrias en la actualidad. Estos pueden llevar a cabo variados tipos de trabajos que una persona no puede hacer por seguridad, falta de habilidad y/o conocimiento y también trabajo común que cualquier empleado puede hacer. Sean meramente de carga de objetos pesados o tareas de precisión. Esta herramienta es una forma de mejorar la eficiencia del trabajo en las fábricas y mejorar la economía de las empresas.



Figura 7: Robot SCARA.

Fuente: SICMA21 (2021)

2.2.4.6 Robot antropomórfico o de brazo articulado

Los robots articulados son los más utilizados en los procesos de fabricación. Se utilizan para realizar operaciones más complejas como la soldadura, el montaje de productos y el mecanizado. Las herramientas de fin de brazo (EOAT) montadas en robots articulados están diseñadas para tener seis grados de libertad. El brazo del robot consta de al menos tres articulaciones de giro. Puede añadirse una cuarta articulación de giro a la muñeca del brazo para hacer girar el EOAT. Su área de trabajo también es esférica, similar a la del tipo de robot esférico que veremos más adelante.



Figura 8: Robot Antropomórfico o Articulado.

Fuente: SICMA21 (2021)

2.2.4.7 Robot delta

Un robot delta consta de al menos tres eslabones conectados a un EOAT y a una base común. El EOAT está conectado a los eslabones mediante tres juntas universales no accionadas. La base, por su parte, está conectada por tres juntas prismáticas o tres juntas accionadas por revoluciones. Las juntas accionadas funcionan conjuntamente para que el EOAT tenga cuatro grados de libertad. En los diseños que utilizan articulaciones prismáticas, se suele conectar un cuarto eslabón o eje al EOAT para permitir la rotación. El EOAT de un robot delta puede moverse a lo largo de todos los ejes cartesianos y también puede girar alrededor del eje vertical.

El resultado es un área de trabajo en forma de cúpula. La acción simultánea de las tres articulaciones accionadas hace que los robots delta sean adecuados para aplicaciones de recogida y colocación rápida en las industrias farmacéutica, alimentaria y electrónica.



Figura 9: Robot Delta.

Fuente: SICMA21 (2021)

2.2.5 Mecatrónica

(W. Bolton, 2016) Un sistema mecatrónica no es sólo la unión de los sistemas electrónico y mecánico y es más que sólo un sistema de control; es una integración completa de todos ellos en la cual existe un enfoque concurrente al diseño. (pág., 3)

Habiendo leído esto podemos inferir que la Mecatrónica representa un nuevo nivel de integración para la tecnología de la manufactura avanzada y de los procesos. El intento se basa forzar el trabajo multidisciplinario para la creación de sistemas especiales, así como reforzar el entendimiento de los procesos y el control en una empresa, como bien podría ser una en la cual se haga el proceso de soldadura SMAW.

2.2.6 Leyes de la Robótica.

Las normativas que respaldan la investigación del proyecto a realizarse son las definidas por el escritor Isaac Asimov, denominadas Leyes de la Robótica, las cuáles en un principio fueron sólo tres, pero luego añadió una cuarta, llamada Ley Cero. Estas son:

1. **Ley Cero:** Un robot no puede dañar a la humanidad, o a través de su inacción, permitir que se dañe a la humanidad.
2. **Primera Ley:** Un robot no puede dañar a un ser humano, o a través de su inacción, permitir que se dañe a un ser humano.
3. **Segunda Ley:** Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, excepto cuando tales órdenes estén en contra de la Primera Ley.
4. **Tercera Ley:** Un robot debe proteger su propia existencia, siempre y cuando esta protección no entre en conflicto con la Primera y la Segunda Ley.

Los robots actuales aún carecen de cualquier tipo de autonomía real para tomar sus propias decisiones o adaptarse inteligentemente a nuevos entornos. Pero, no hay que olvidar que en los humanos recae toda la responsabilidad ética y legal para su conservación y seguridad.

2.3 Bases Legales.

2.3.1. Norma Venezolana COVENIN 504A-83. Calificación de soldadores y operadores de máquinas de soldar

La Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN en su reunión No 62, del 13-12-83, decidió aprobar la presente Norma, con carácter Provisional, la cual ha sido elaborada por Técnicos de la Dirección de Normalización y Certificación de Calidad. La elaboración de la misma responde a la necesidad de contar en el país con una Norma Nacional para calificar y clasificar a los trabajadores del oficio de soldadura basado en los conocimientos y destrezas adquiridos por ellos en el ejercicio de esa ocupación, establecer los perfiles y exigencias de la ocupación e intercambiar mano de obra calificada. La inexistencia de un Sistema Uniforme de Calificación de Soldadura, impide conocer la manera como se distribuyen los niveles de calidad en el mercado de trabajo del oficio.

- COVENIN 799-79 Soldadura y corte definiciones.
- COVENIN 785-77 símbolos de soldadura.
- COVENIN 304-79 Ensayo de doblado para materiales metálicos.
- COVENIN 504-8 Calificación de procedimientos de soldadura.

2.3.2 Norma Venezolana COVENIN 979-78. Medidas de seguridad en el proceso de soldadura al arco para distintos riesgos.

Medidas de seguridad en el proceso de soldadura al arco para distintos riesgos; elaborada de acuerdo a las directrices del comité técnico de normalización ct6: higiene y seguridad industrial por el subcomité técnico scl: protección personal, aprobada por la comisión venezolana de normas industriales covenin el 8 de agosto de 1978. Declarada de obligatorio cumplimiento (*).

- COVENIN 955-76 "Protectores Oculares y Faciales"
- COVENIN 1056-76 "Equipos de Protección Respiratoria"

2.4 Definición de términos

Industria Metalmeccánica: La industria metalmeccánica se encarga de surtir a los demás sectores de la cadena productiva, esto puede ser mediante maquinaria, bienes de consumo o

herramientas hechas a la medida. Esta industria, abarca desde máquinas industriales hasta herramientas proveedoras de partes para las demás industrias metálicas.

Soldadura tipo SMAW: proceso en que se unen dos metales mediante una fusión localizada, producida por un arco eléctrico entre un electrodo metálico y el metal base que se desea unir.

2.5 Cuadro de Operacionalización de Variables

Objetivo general: Diseño de un brazo robótico industrial para proceso de soldadura SMAW.

Cuadro 1: Operacionalización de las Variables

Objetivo específico	Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Estudiar los pasos que se llevan a cabo en los procesos de soldadura para determinar requisitos necesarios en el diseño de un brazo robótico	Estudio de procesos.	1-Proceso de línea de soldaduras. 2-Estudio de línea.	-Orienta la actividad a los objetivos propuestos.	-Registros específicos -Cuaderno de notas.
	Automatización de tareas.	1-Personal capacitado. 2-Manejo de robótica.	-Detección y corrección de errores.	-Cuaderno de notas. -Diarios - Técnica de entrevista.

Fuente: Granda, A. (2022)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Una vez planteado el problema de investigación y los objetivos para alcanzar por la autora, se hizo necesario establecer los procedimientos de orden metodológico que permitieron ejecutar la investigación. Esto implicó seleccionar el paradigma positivista de enfoque cuantitativo, el tipo, diseño y nivel de la investigación, la Operacionalización de las variables y las técnicas e instrumentos de recolección de información. Según Arias (2012), el marco metodológico constituye el “como” se debe realizar la investigación para responder al problema planteado.

3.1. Tipo de la investigación.

El presente trabajo se clasifica como un proyecto factible, ya que, un proyecto factible según Arias, (2012, p. 134) expresa que: “se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico y satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización”. Es decir, se realiza una propuesta con el fin de resolver problemas prácticos acompañado de una investigación que manifieste su factibilidad.

3.2. Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación adoptado en el presente estudio es un diseño documental y de campo, ya que se pretende observar un fenómeno en su contexto natural y, así mismo, obtener información respecto al mismo. Según Arias (2012) una investigación de campo “consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna” (p. 31). Así mismo, Para Tamayo y Tamayo (2000, p. 130) “la investigación documental es la que se realiza con base en revisión de documentos, manuales, revistas, periódicos, actas científicas, conclusiones y seminarios y /o cualquier tipo de publicación considerado como fuente de información.”

3.3. Nivel de investigación.

Dado el propósito de este trabajo, el mismo se circunscribe dentro de un nivel de investigación descriptiva, ya que su finalidad es indagar por la problemática actual con respecto a las dificultades que se pueden presentar en una línea de producción debido a actividades repetitivas y consecuencias del rendimiento humano lo cual incrementa un margen de error con dicho servicio y a su vez plantear el diseño de un brazo robótico para así se capaz de mejorar esta relación.

Según Hernández, Fernández, Baptista (2008) “las investigaciones descriptivas se definen como aquellas que buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis”.

3.4. Población y muestra.

Tamayo (2012) define la población como “la totalidad de un fenómeno de estudio, incluye la totalidad de unidades de análisis que integran dicho fenómeno y que debe cuantificarse para un determinado estudio integrando un conjunto N de entidades que participan de una determinada característica, y se le denomina la población por constituir la totalidad del fenómeno adscrito a una investigación”.

La población se basa en todos los tipos de robots tipo industrial existentes más comunes en la industria como lo son: los robots SCARA, Antropomórficos, de cilindro, cartesiano, esférico o polar.

Aular, M. (2014) alega que, “En las muestras probabilísticas, la característica fundamental es que todo elemento del universo tiene una determinada probabilidad de integrar la muestra, y esa probabilidad puede ser calculada matemáticamente con precisión. En las muestras no probabilísticas ocurre lo contrario y el investigador no tiene idea del error que puede estar introduciendo en sus apreciaciones.”

La muestra será el robot antropomórfico, en la cual nos esbozaremos para la realización de la propuesta del brazo robótico.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Para Arias (1999), las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información. Son ejemplos de técnicas; la observación directa, la encuesta, la entrevista), el análisis documental, análisis de contenido, otros. La razón

principal para la utilización de estas técnicas e instrumentos es que nos permitirán la recolección de importante información es que podemos analizar y tabular los resultados que se encuentran en función de las variables de la hipótesis y su respectiva comprobación, estableciendo conclusiones y recomendaciones para obtener una investigación que cumpla con el objetivo planteado, sea del agrado del investigador y de los demás lectores.

Para esta investigación, la técnica que se utilizará es la observación directa, el análisis documental y el guion de entrevista.

3.5.1 Observación Directa

La observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos (Arias, 2012). En esta investigación se realizó una observación libre, que según Arias (2012), se caracteriza por no tener una guía prediseñada que especifique cada uno de los aspectos que deben ser observados. Los instrumentos que se utilizaron para recopilar la información fueron un cuaderno de notas y registros específicos

3.5.2 Análisis Documental

El análisis documental es una técnica de revisión y de registro de documentos que fundamentan el propósito de la investigación y permite el desarrollo del marco teórico y/o conceptual y aborda todo paradigma investigativo (cualitativo, cuantitativo y/o multimétodo). (Bernal, 2006).

La recopilación de información se realizó a través de una revisión exhaustiva a documentos, procedimientos, catálogos, instructivos, así como también los manuales. El instrumento que se utilizó para recolectar la información serán fichas, computadoras, cuadro de registros.

3.5.3 Entrevistas

Arias (2012), dice que la entrevista, más que un simple interrogatorio, es una técnica basada en un diálogo o conversación "cara a cara", entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida. En este trabajo se recurrió a una entrevista semi-estructurada.

3.6. Fases Metodológicas

Fase I: Estudio de los pasos que se llevan a cabo en los procesos de soldadura para determinar requisitos necesarios en el diseño de un brazo robótico.

En esta fase se busca información acerca del proyecto, se realiza una investigación a través de diferentes fuentes, internet, libros, tesis, entrevista la cual nos permite tener una amplia variedad de información ya sean estadísticas, hipótesis etc. en todos los aspectos de la investigación.

Fase II: Selección de la opción más viable para el diseño de brazo robótico.

En esta fase se realizó la identificación de las restricciones del proceso de soldadura, se caracterizan y se comprenden las funciones de este proceso en el brazo robótico, analizando cada detalle para su estudio, diseño y ampliación de su camino más favorable.

Fase III: Diseño de un brazo robótico que permita automatizar las tareas que se llevan a cabo en el proceso de soldadura.

En esta fase se expone un diseño que permite identificar la razón por la cual la soldadura aplicada por el hombre carece de estandarización y de tiempos precisos en la aplicación del mismo.

Fase IV: Evaluación de la viabilidad económica, técnica, operativa, ambiental y social del brazo diseñado.

En esta fase se buscó el camino más responsable a nivel ambiental, social, económico, junto a normativas que abarcan estas especificaciones para la realización y evaluación del brazo robótico.

3.7. Confiabilidad de la investigación.

Cuando se habla de la calidad de un estudio hay que referirse a su rigor científico, fiabilidad, veracidad, confiabilidad, plausibilidad, adecuación metodológica, credibilidad, congruencia. Pero, quizá, el término más utilizado en el campo cuantitativo es el de «confiabilidad». Una investigación no confiable, no es verdadera. Una investigación no válida, no es una buena investigación, no tiene credibilidad. Si los estudios no pueden ofrecer resultados válidos, entonces, las decisiones políticas, educativas, curriculares, no pueden basarse en ellos.

Así mismo, Martínez (2006) expresa que una investigación con buena confiabilidad es aquella que es estable, segura, congruente, igual a sí misma en diferentes tiempos y previsible

para el futuro. En función a lo expresado por Martínez (2006), en esta investigación se realizó la validación del instrumento de recolección de información (guión de la entrevista) por un panel de expertos para dar confiabilidad a los datos recopilados.

CAPITULO IV

RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a través de la metodología seleccionada. La información fue recopilada través de la observación directa, análisis documental y entrevistas semiestructuradas realizadas a personas con conocimiento en el área de estudio. Los resultados se exponen a través de cada uno de los objetivos específicos de esta investigación.

4.1 Fase I: Estudio de los pasos que se llevan a cabo en los procesos de soldadura para determinar requisitos necesarios en el diseño de un brazo robótico.

4.1.1 Proceso de soldadura manual.

Consiste en la utilización de un electro con un determinado recubrimiento, según sea las características específicas, y que describiremos brevemente enseguida. A través del mismo se hace circular un determinado tipo de corriente eléctrica, ya sea esta de tipo alterna o directa. Se establece un corto circuito entre el electrodo y el material base que se desea soldar o unir, este arco eléctrico puede alcanzar temperaturas del orden de los 5500 °C, depositándose el núcleo del electrodo fundido al material que se está soldando, de paso se genera mediante la combustión del recubrimiento, una atmosfera que permite la protección del proceso, esta protección se circunscribe a evitar la penetración de humedad y posibles elementos contaminantes. También se produce una escoria que recubre el cordón de soldadura generado. (Ver Figura 4)

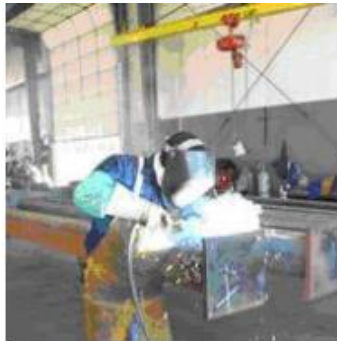


Figura 10: Metalización

Fuente: Metalización, servicios y representaciones. (2021)

4.1.2 El equipo

Podemos observar en la figura 5 que el equipo es relativamente sencillo, y se compone básicamente de una fuente de poder, porta electrodo, y cable de fuerza. En la figura 6 vemos un equipo real y que puede comprarse en el mercado local. Para ver sus especificaciones, pueden acceder a la dirección indicada.

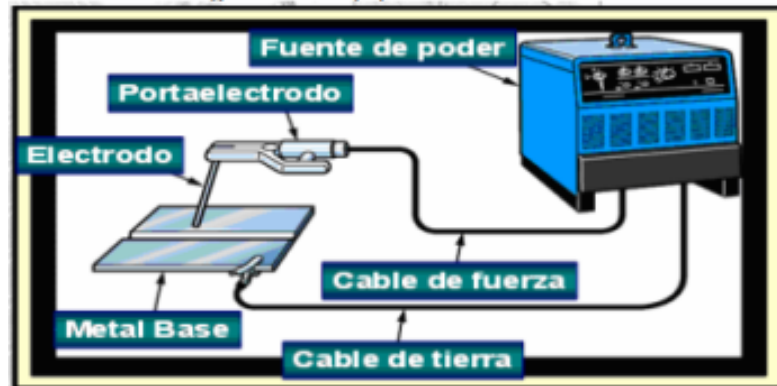


Figura 11: Equipo Básico de Soldadura
Fuente: Itw welding product grup (2021)



Figura 12. Equipo de soldadura
Fuente: INFRA (2020).

4.1.3 El electrodo

Como ya hemos visto, para poder realizar este proceso de soldadura al arco con electrodo recubierto, se dispone de una gran diversidad de tipos de electrodos, cada uno de ellos se selecciona en base al material de que está constituido su núcleo, así como por su tipo de recubrimiento y además por el diámetro del electrodo. La AWS. (American Welding Societi) ha normalizado su diseño y utilización. Para efectos de identificación se utiliza las siguientes siglas. Como podemos ver en la figura 7 Esta identificación aparece en la parte superior de cada electrodo. Como una aclaración: diremos que la sigla de posiciones, se refiere a la posición en la que se coloca el electro a la hora de estar ejecutando el cordón de soldadura.

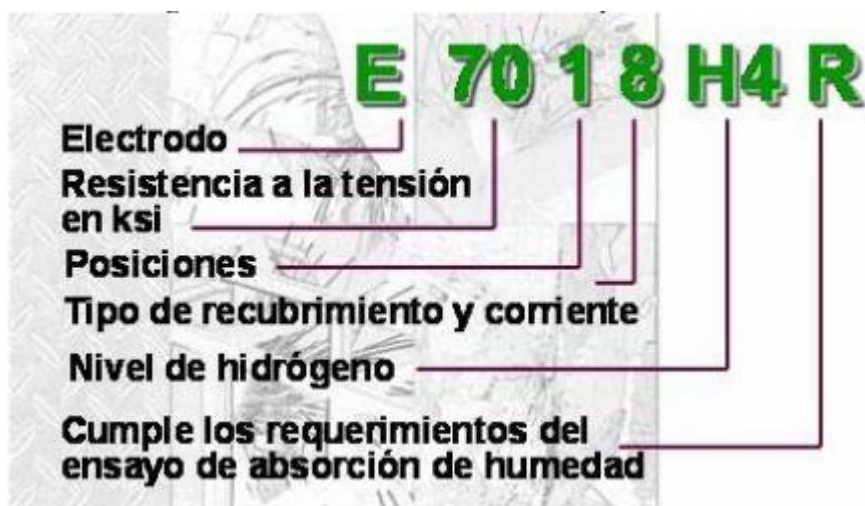


Figura 13: Clasificación AWS A5.1 para Electrodos

Fuente: ITW WELDING PRODUCT GRUP. (2021)

4.1.4 Requisitos de seguridad

El proceso de soldadura ha de realizarse preferentemente en áreas asignadas de forma específica, para evitar que personal ajeno al proceso pueda en determinado momento salir lastimado. Toda soldadura al arco, genera rayos ultravioletas, los que de incidir directamente en la retina por un periodo prolongado de tiempo pueden producir ceguera. Debido a esto, siempre ha de utilizarse una protección específica, a través de una máscara de soldadura; también han de protegerse manos, brazos y cuerpo.

En este sentido, el equipo de protección individual de un trabajador que proceda a soldar incluirá:

- Ropa que proteja de las chispas y del metal fundido y que cubra el cuello.

- Los bolsillos de esta ropa deben poder abotonarse
- Guantes o manoplas con que proteger las manos
- Protección en la cabeza
- Gafas y máscara
- Calzado de seguridad
- Pantalones sin vueltas
- Polainas
- Mandil o peto protector (de cuero es una buena idea)
- Máscara para evitar inhalación de humos tóxicos. Esta medida puede ser necesaria en el caso de que el lugar donde se trabaje no esté lo suficientemente aireada



Figura. 14: Equipo de Protección

Fuente: Revista Constructivo. (2022)

4.1.5 La Soldadura automatizada

La soldadura robotizada consiste en la automatización del proceso de soldadura a través de robots de soldadura industriales, welding robot en inglés, o robot de soldadura colaborativos. La utilización de un robot de soldadura industrial y un robot de soldadura colaborativo, dependerá de variables como el tiempo de ciclo, volumen y cantidad de soldadura, producto a soldar y peso de las herramientas, entre otros. El proceso de soldadura robotizada se realiza normalmente de manera totalmente automática, por lo que la intervención del operario suele ser mínima en este tipo de procesos.

- **La soldadura automatizada con robot industriales** es ampliamente utilizada en el sector automoción, debido a que trabaja con series largas, tiempos de ciclos muy cortos, donde se requiere gran alcance y elevados estándares de calidad y precisión. Los robots industriales pueden realizar cualquier tipo de soldadura, con independencia de las herramientas que se utilice para ello.
- **La soldadura automatizada con robot colaborativos** suele utilizarse en otros sectores industriales distintos al sector de automoción, en los que el tiempo de ciclo es mayor, el alcance requerido es menor y en los que pueden intervenir procesos manuales. Los robots colaborativos no pueden realizar cualquier tipo de soldadura, debido a que cuentan con el handicap del peso (peso máximo de unos 15-16 kilos). Por ello podrían realizar soldadura por arco, soldadura TIG, soldadura MIG y soldadura MAG, pero no soldadura por puntos, ya que la pinza de soldar es muy pesada para ellos.

4.1.6 Elementos que intervienen en el proceso de soldadura robotizada con robots industriales

Dentro de los elementos que intervienen en el proceso de soldadura robotizada o en las conocidas células robotizadas de soldadura, encontramos:

4.1.6.1 Armario eléctrico o convertidor de media frecuencia, este sistema:

- Asegura la calidad de los puntos de soldadura
- Asegura la soldadura sin proyecciones
- Regula la potencia de forma inteligente
- Reduce los tiempos de soldadura
- Controla el consumo de energía

4.1.6.2 Robot Industrial (Antropomórfico) dotado, dependiendo de la necesidad de:

- Pinza de soldar y antorcha
- Garra
- Visión artificial

4.1.6.3 Control de la soldadura: el cuál regula la corriente del transformador para conseguir una mayor o menor potencia en la soldadura.

4.1.6.4 Estación de limpieza de antorcha.

4.1.6.5 Útil de soldadura: Se trata de un medio que garantiza el correcto posicionamiento y fijación de la pieza para que ésta pueda soldarse adecuadamente. Podemos encontrar útiles de soldadura manuales o automáticos, siendo estos últimos los más utilizados en el sector industrial.

4.1.6.6 Extractores de humos de soldadura: Sistema que utiliza un ventilador que utiliza tiro negativo para atraer humos y partículas de polvo a un sistema de filtración contenido. Este proceso elimina las partículas peligrosas del aire. Muchas industrias y procesos como la soldadura, lijado, rectificado, pulverización y procesos que involucran humos de escape necesitan este tipo de extracción para proteger a las personas, la maquinaria y por supuesto el medio ambiente que todos compartimos.

4.1.6.7 Elementos de seguridad, entre los que podemos encontrar:

- Barreras fotoeléctricas
- Puertas de acceso a la instalación
- Vallados y protecciones físicas
- Botones de parada de emergencia

4.1.7 Tipos de soldadura con robots industriales.

4.1.7.1 Soldadura por puntos

Es un método de soldadura por resistencia que se basa en presión, intensidad y tiempo. En esta soldadura se calientan una parte de las piezas a soldar por corriente eléctrica a temperaturas próximas a la fusión y se ejerce una presión entre las mismas. Generalmente se destina a la soldadura de chapas o láminas metálicas, aplicable normalmente entre 0,5mm y 3mm de espesor. Es conveniente que las dos chapas tengan el mismo grosor

El soldeo por puntos es el más difícil y complicado de los procedimientos de soldadura por resistencia. Los materiales bases se deben disponer solapados entre electrodos, que se encargan de aplicar secuencialmente la presión y la corriente correspondiente al ciclo produciendo uno o varios puntos de soldadura.



Figura 15: Brazo soldador por Punto

Fuente: VLD Engineering (2019)

4.1.7.2 Soldadura por Arco

Se produce al acercar el electrodo al metal que se va a soldar para formar un arco voltaico. Se utilizan dos métodos: rayado y golpeado. El método de rayado es similar a encender un fósforo gigantesco. El método de golpeado es, como su nombre lo indica, un método de golpes suaves en sentido vertical. En ambos casos la corriente para soldar forma un arco tan pronto el electrodo toca el metal que se va a soldar. Si se dejase el electrodo en esa posición se quedaría pegado con el metal. Para evitarlo, hay que elevar el electrodo tan pronto como haga contacto con el metal y este se transfiera en forma de glóbulos. Pero el arco se extinguirá si se levanta demasiado el electrodo y hay que repetir todo el procedimiento.



Figura 16: Brazo soldador por Arco.

Fuente: VLD Engineering (2019)

4.1.7.3 Soldadura laser

Es un proceso de soldadura por fusión que utiliza la energía aportada por un haz láser para fundir y recristalizar el material o los materiales a unir, obteniéndose la correspondiente unión entre los elementos involucrados. En la soldadura láser comúnmente no existe aportación de ningún material externo. La soldadura se realiza por el calentamiento de la zona a soldar, y la posterior aplicación de presión entre estos puntos. De normal la soldadura láser se efectúa bajo la acción de un gas protector, que suelen ser helio o argón. Mediante espejos se focaliza toda la energía del láser en una zona muy reducida del material.

Cuando se llega a la temperatura de fusión, se produce la ionización de la mezcla entre el material vaporizado y el gas protector (formación de plasma). La capacidad de absorción energética del plasma es mayor incluso que la del material fundido, por lo que prácticamente toda la energía del láser se transmite directamente y sin pérdidas al material a soldar. La elevada presión y elevada temperatura causadas por la absorción de energía del plasma, continúa mientras se produce el movimiento del cabezal arrastrando la "gota" de plasma rodeada con material fundido a lo largo de todo el cordón de soldadura.

Para controlar el espesor del cordón de soldadura, la anchura y la profundidad de la penetración se pueden utilizar otro tipo de espejos como son los espejos de doble foco.



Figura 17: Brazo soldador por Laser.

Fuente: VLD Engineering (2019)

4.1.8 Proceso de soldadura del brazo robótico.

Los robots industriales involucrados en el proceso de soldadura robótica son dispositivos articulados, equipados con brazos, que generalmente están montados en algún tipo de eje que les permite moverse y ajustarse según sea necesario. Al igual que el tipo de electrodo que se esté usando, por lo general las varillas tiene de manera típica una longitud de 225 - 450mm y un diámetro de 2.5 – 9.5mm. El metal del relleno de la varilla debe de ser compatible con el material que se soldará, y por lo tanto la composición debe de ser lo más parecida al material base.

Un factor muy importante en la soldadura SMAW es que dependiendo de si se trabaja en DC o AC varían algunas características del cordón de soldadura y del proceso en sí, por eso hay que tener muy en cuenta lo siguiente para la elección del mismo. (Ver el cuadro N°2)

Cuadro 2: Diferencias de Corriente.

Cuando se trabaja en AC	Cuando se trabaja en DC
Se produce un arco con un flujo más errático que produce mayor salpicadura.	La operación resulta más fácil por la estabilidad del arco.
El cebado del arco es más difícil en especial con electrodos de diámetro pequeño.	El cebado y mantenimiento del arco se facilita.
No todos los electrodos son compatibles.	En materiales ferromagnéticos puede haber problemas con el soplo magnético.
Se comporta mejor cuando la fuente está a mayor distancia.	Por las bajas intensidades se prefieren las posiciones de soldadura sobre la cabeza.
No hay problemas relacionados con el soplo magnético.	Posibilidad de elegir polaridad.
Se obtiene mayor rendimiento.	Se puede utilizar cualquier tipo de electrodoméstico
	Se prefiere en materiales delgados

Fuente: Soldadura y estructuras. (2022)

4.1.9 Observación directa

Se han detectado factores de riesgo significativos que determinan como muy posible la generación de fallas por parte de un operario soldador, estas se determinaron en el siguiente cuadro (ver cuadro N°3):

Cuadro 3: Criterio de Observaciones

N°	OBSERVACIONES	CRITERIOS		
		Aceptable	Regular	Muy importante
1	¿La carga útil del soldador influye en el material?			X
2	¿Precisión del soldador en posicionamiento al soldar?		X	
3	¿Exceso de aceleración y desaceleración de un punto a otro?	X		
4	¿Nivel de protección del soldador e inocuidad (comida, medicamentos, etc.)?			X
5	¿El momento de aplicación y qué tipo de procesos se va a realizar?			X

Fuente: Granda, A (2022)

Según lo observado, se concluyó que existen diversos parámetros de los cuales se tienen que tener siempre en cuenta, demostrando un trayecto efectivo del brazo robótico. Siempre dando garantía de su eficacia, rendimiento y precisión.

4.1.10 Entrevista Semiestructuradas

Posteriormente, se aplicó una entrevista semiestructuradas aplicada a un panel conformado por tres (03) expertos (ver cuadro 4) que se encuentran a cargo de los sistemas de robótica y soldadura tienen relación con el área de mantenimiento y soldadura, utilizando para ello el guion de entrevistas compuestas por Diez (10) interrogantes especificadas en el cuadro 5, que sirvieron como instrumento de recolección de datos.

Cuadro 4: Expertos a entrevistar.

N°	Nombre y Apellido	Profesión
1	Luis Ortega	Ingeniero Mecánico
2	Freddy Gómez	Soldador Mixto
3	Wandy Bravo	Soldador

Fuente: Granda, A. (2022)

Cuadro 5: Entrevista Estructurada # 1

RESULTADOS DE LA ENTREVISTA		
N°	Experto: Luis Ortega	Fecha:
	PREGUNTAS	RESPUESTAS
1	En su opinión, ¿Cuál es el tipo de soldadura más usada en las empresas de mantenimiento industrial?	El procedimiento más usado en la industria, depende del tipo de actividad que allí se desarrolle. En la industria del ensamblaje de vehículos, la soldadura por resistencia es la más usada. A nivel mundial, el proceso SMAW, es el más usado
2	Desde su experiencia en el ramo industrial ¿Cuáles geometrías de piezas metálicas considera usted que son las más comunes en los trabajos de soldadura, realizados por una empresa dedicada al mantenimiento industrial?	Las geometrías más usadas en uniones de soldaduras, son: a tope sin bisel, a tope con bisel, solapada y de filete.
3	La teoría de uniones permanentes, calcula y explica la distancia correcta entre el elemento a soldar y el electrodo; Podría describir usted, ¿cómo realiza ese cálculo o que sentidos usa para una correcta aplicación del cordón de soldadura?	El arco eléctrico, es la distancia entre la punta derretida del núcleo del electrodo y la superficie del charco de soldadura. Es importante usar un arco con la longitud adecuada para obtener una soldadura de buena calidad. El arco eléctrico depende principalmente del voltaje de arco. Bajo voltaje, significa arco corto, alto voltaje representa un arco largo. El cambio de voltaje corresponde a cambios de corriente en el arco o cantidad de calor que se crea por el arco. El soldador tiene la capacidad de manipular el electrodo para obtener longitudes de arco mayores o menores. La diferencia de potencial estará fijada entre el electrodo y la pieza de trabajo y su valor oscila entre 20 y 35 voltios. El amperaje lo fijará el diámetro del electrodo y el proceso. las variaciones en el voltaje serán mínimas si se suelda con el amperaje y la longitud de arco correcta. La longitud de arco correcta varía con la clasificación del electrodo, su diámetro, composición de su cobertura, amperaje y posición de soldadura.

Continuación Cuadro 5:

N°	Experto: Luis Ortega	Fecha: 29/07/2022
	PREGUNTAS	RESPUESTAS
4	Desde su experiencia, ¿podría describir que diferencia existe al momento de soldar, si se fijan o anclan los elementos y usted gira según corresponde o por el contrario se giran las piezas para soldar?	Fijar o anclar elementos a soldar persigue un fin específico. La soldadura genera calor y produce expansión térmica en la pieza soldar. El proceso incluye enfriar el material de trabajo, lo cual genera contracción. Ambos procesos se controlan fijado o anclando la pieza de trabajo. El giro o no de la pieza a soldar depende del tamaño y peso de la pieza a trabajar. En el caso de soldar láminas de la pared de un tanque, es imposible girar la pared del tanque para soldar por ambos lados. En este caso quien cambia de posición, es el soldador.
5	Desde su experiencia en el campo industrial, ¿Cuáles son las estrategias que usted utiliza cuando se encuentran ante trabajos repetitivos de soldadura?	En trabajos repetitivos, la solución económica es automatizar el proceso. Existen procesos automatizados, como la soldadura por resistencia en la industria del ensamblado de vehículos. Lamentablemente la soldadura SMAW, que es la más usada, no es fácil de automatizar.
6	En el ámbito del trabajo de soldadura in situ, ¿puede usted enumerar las variables a considerar para ejecutar un proceso de soldadura correcto?	Las variables a considerar para ejecutar un proceso de soldadura correcto, dependen del proceso a usar. El proceso debe ser adecuado para los metales y aleaciones a usar. Otra consideración es si el proceso requiere gas auxiliar o fundente. La máquina a usar debe tener el ciclo de trabajo adecuado. El electrodo y amperaje a usar deben ser el adecuado, las posiciones de soldadura y el diseño de la junta a soldar deben ser adecuados, el espesor de la pieza a soldar es sumamente importante. La calidad del soldador es la variable más importante.

Fuente: Granda, A. (2022)

Cuadro 6: Entrevista Estructurada # 2

RESULTADOS DE LA ENTREVISTA		
N°	Experto: Freddy Gómez	Fecha: 28/07/2022
	PREGUNTAS	RESPUESTAS
1	En su opinión, ¿Cuál es el tipo de soldadura más usada en las empresas de mantenimiento industrial?	El tipo de soldadura más usada es la soldadura TIG.
2	Desde su experiencia en el ramo industrial ¿Cuáles geometrías de piezas metálicas considera usted que son las más comunes en los trabajos de soldadura, realizados por una empresa dedicada al mantenimiento industrial?	La geometría más común es de círculos ya que la mayoría de los trabajos se realizan en tuberías.
3	La teoría de uniones permanentes, calcula y explica la distancia correcta entre el elemento a soldar y el electrodo; Podría describir usted, ¿cómo realiza ese cálculo o que sentidos usa para una correcta aplicación del cordón de soldadura?	La correcta aplicación del cordón de soldadura es calculada de acuerdo al diámetro del electrodo a utilizar. Por ejemplo: si el electrodo es de 1/8” entonces la distancia entre el electrodo y el material debe ser el mismo.
4	Desde su experiencia, ¿podría describir que diferencia existe al momento de soldar, si se fijan o anclan los elementos y usted gira según corresponde o por el contrario se giran las piezas para soldar?	La diferencia en la forma de realizar la soldadura debe ser indicada por el procedimiento que le suministran al soldador para el efecto de la calidad de la soldadura, si es un soldador de primera, no debe influir en el resultado
5	Desde su experiencia en el campo industrial, ¿Cuáles son las estrategias que usted utiliza cuando se encuentran ante trabajos repetitivos de soldadura?	La estrategia siempre es la misma, ya que los procedimientos de soldadura deben ser respetados.
6	En el ámbito del trabajo de soldadura in situ, ¿puede usted enumerar las variables a considerar para ejecutar un proceso de soldadura correcto?	-Un acceso libre y ordenado al área. -Orden y limpieza en el área de trabajo. -Tener todos los implementos de seguridad. -Aplicar los procedimientos correctos de soldadura.

Fuente: Granda, A. (2022)

Cuadro 7: Entrevista Estructurada # 3

RESULTADOS DE LA ENTREVISTA		
N°	Experto: Wandy Bravo	Fecha: 2
	PREGUNTAS	RESPUESTAS
1	En su opinión, ¿Cuál es el tipo de soldadura más usada en las empresas de mantenimiento industrial?	La soldadura TIG y la soldadura SMAW (por electrodo)
2	Desde su experiencia en el ramo industrial ¿Cuáles geometrías de piezas metálicas considera usted que son las más comunes en los trabajos de soldadura, realizados por una empresa dedicada al mantenimiento industrial?	Las más comunes son cilindros y los cónicos
3	La teoría de uniones permanentes, calcula y explica la distancia correcta entre el elemento a soldar y el electrodo; Podría describir usted, ¿cómo realiza ese cálculo o que sentidos usa para una correcta aplicación del cordón de soldadura?	La distancia correcta entre el elemento a soldar y el electrodo son una vez conseguido el arco se debe alejar el electrodo de la pieza para mantenerlo unos 3mm de acuerdo a la experiencia.
4	Desde su experiencia, ¿podría describir que diferencia existe al momento de soldar, si se fijan o anclan los elementos y usted gira según corresponde o por el contrario se giran las piezas para soldar?	Depende del tamaño de la pieza y en piezas grandes gira el soldador.
5	Desde su experiencia en el campo industrial, ¿Cuáles son las estrategias que usted utiliza cuando se encuentran ante trabajos repetitivos de soldadura?	La estrategia que se toma es se trabaja por lotes que tengan las mismas especificaciones.
6	En el ámbito del trabajo de soldadura in situ, ¿puede usted enumerar las variables a considerar para ejecutar un proceso de soldadura correcto?	<ul style="list-style-type: none"> -Que no halla riesgo eléctrico. -El equipo en buen estado. -Usar el equipo de protección. - El arco este limpio.

Fuente: Granda, A. (2022)

De las entrevistas realizadas a los expertos en cuestión se obtuvo los siguientes resultados en cada una de las preguntas:

Pregunta N°1

Los expertos consultados en el tema estuvieron de acuerdo, en que el tipo de soldadura son la TIG Y SMAW las más usadas a nivel industrial dependiendo del tipo que se desarrolle.

Pregunta N° 2

Existieron distintos puntos de vista, dos de los entrevistados aseguraron que Las geometrías más usadas son las cilíndricas y cónicas que se encuentran más que todo en tuberías, mientras que el tercero señaló que son repetitivas las geometrías rectangulares para diferentes tipos de formas de soldar.

Pregunta N° 3

Los expertos afirmaron que la distancia correcta es dependiendo el grosor que se use del electrodo.

Pregunta N° 4

Los expertos confirmaron que todo dependerá del tamaño de la pieza a soldar ya que si es muy grande se deja fija y ellos recorren la pieza y de lo contrario se gira la base junto con la pieza.

Pregunta N° 5

Los expertos trabajan de diferentes maneras ya que uno hace los trabajos repetitivos por lotes, otros siguen la misma ya que depende de las indicaciones dadas otra de las respuestas fue la automatización del trabajo es la más eficaz para este tipo de casos.

Pregunta N° 6

Por lo que se refiere a soldadura las variables en las que los tres expertos coincidieron es en la seguridad en la actividad, el acceso libre a la zona de trabajo, organización en los implementos, protección de seguridad.

4.2 Fase II: Selección de la opción más viable para el diseño de brazo robótico.

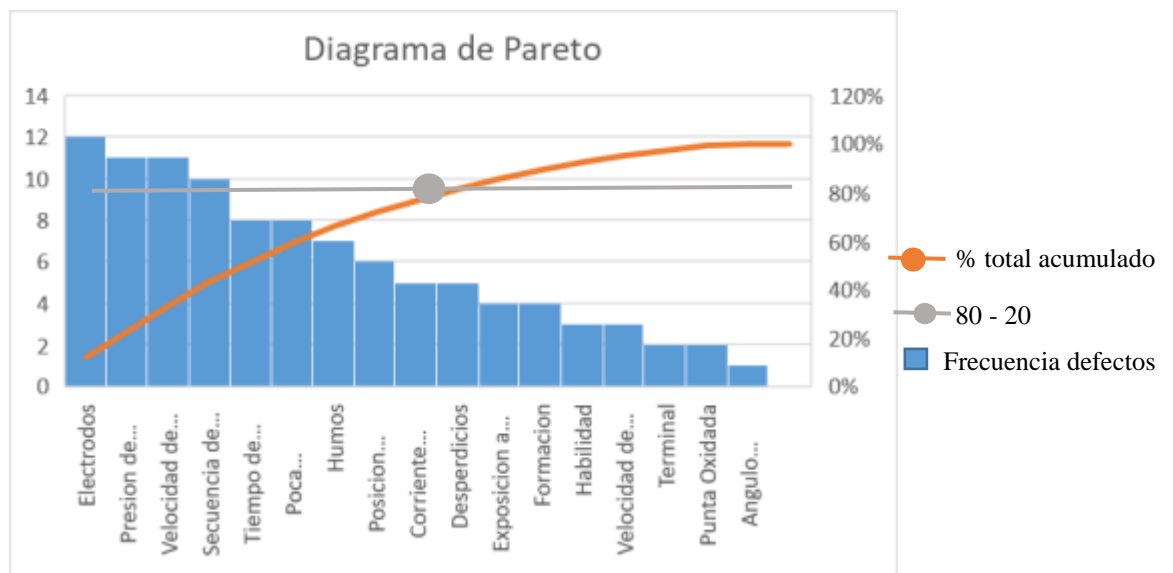
En el capítulo II se definió que, para la elección de todas las variables involucradas para los pasos de soldar, se aplicó un diagrama de Ishikawa o espina de pescado obteniendo los siguientes resultados:

Gráfico 1: Diagrama de Ishikawa



Fuente: Granda, A. (2022)

Gráfico 2: Diagrama de Pareto



Fuente: Granda, A (2022)

Dentro del desarrollo del diseño de un brazo robótico se asigna un valor porcentual respecto al tiempo de ejecución del proyecto teniendo como ejemplo el cambio de electrodo por hora y la configuración del robot para la aplicación de esos electrodos, el desempeño del equipo está relacionado al ciclo de trabajo de la máquina de soldar. Según el análisis de los datos recolectados en el proceso de soldeo las incidencias con más relevancia son las primeras 4 y cubren el 80.22% del total de las incidencias las cuales son:

- Electrodo.
- Precisión de trabajo.
- Velocidad de soldadura.
- Secuencia de soldadura.

4.3 Fase III: Diseño de un brazo robótico que permita automatizar las tareas que se llevan a cabo en el proceso de soldadura.

En el capítulo III se expuso un diseño que permitió identificar la razón por la cual la soldadura aplicada por el hombre carece de estandarización y de tiempos precisos en la aplicación del mismo. Se encontró una posible solución y se halló una morfología que sirviera para la tarea a hacer, se hallaron sus respectivos cálculos y se diseñan las partes mecánicas teniendo en cuenta todo lo anterior.

4.3.1 Posibles diseños de Brazo robótico

Diseño A) Brazo robótico industrial SCARA de base fija con extensión de brazo largo para proceso de soldadura SMAW.

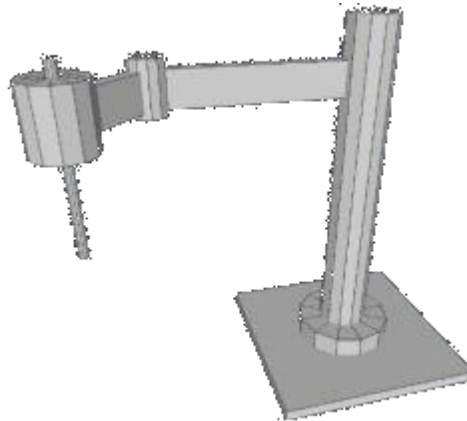


Figura 18: Robot diseño A

Fuente: Granda, A. (2022)

Este tipo de robot es complejo para la tarea de soldadura ya que su espacio de trabajo se limita a la parte inferior del robot, lo que hace imposible llegar a lugares requeridos en la aplicación

Diseño B) Brazo robótico industrial antropomórfico con movilidad en el área para el proceso de soldadura SMAW.

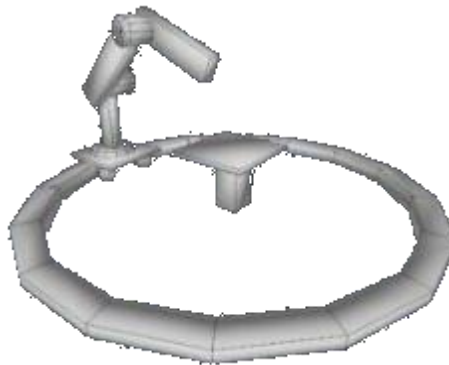


Figura18: Robot diseño B

Fuente: Granda, A. (2022)

Este tipo de robot se utiliza principalmente en la industria de la soldadura, donde es necesario el uso de máquinas para no poner en riesgo personal, se encargan las tareas pesadas y repetitivas. Estos robots están diseñados para repetir los movimientos humanos los cuales tienen gran maniobrabilidad, rapidez, de eslabones pequeños.

Diseño C) Brazo robótico industrial esférico con mesa soldadora incorporada para proceso de soldadura SMAW.

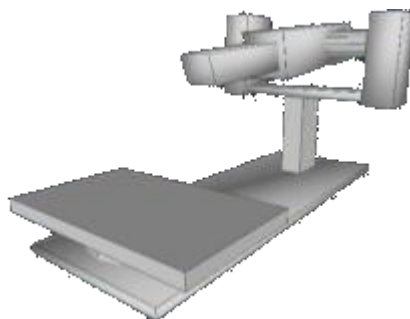


Figura19: Robot diseño C

Fuente: Granda, A. (2022)

Este tipo de robot utiliza el sistema de coordenadas polares tridimensionales r , θ y φ . En lugar de tener una zona de trabajo en forma de prisma rectangular, lo cual es una barrera a la hora de soldar ya que no tendrá una movilidad ágil y específica.

4.3.2 Seleccionar el brazo robótico industrial que se adapta para el funcionamiento de proceso de soldadura SMAW.

Posibles Brazos (PB)

- **(PB1):** Brazo robótico industrial esférico
- **(PB2):** Brazo robótico industrial antropomórfico
- **(PB3):** Brazo robótico industrial SCARA

Restricciones

- **R1:** Reducción de tiempo en producción.
- **R2:** Disminución de materia prima en comparación a un soldador.
- **R3:** Rendimiento del electrodo.
- **R4:** Accesibilidad a la fuente de energía en el país.
- **R5:** Pieza a soldar por el robot entre 1 y 1.5m

Cuadro de restricciones

	PB1	PB2	PB3
R1	SI	SI	SI
R2	NO	SI	SI
R3	NO	SI	SI
R4	NO	SI	SI
R5	NO	SI	SI

Cuadro Nro. 8

Fuente: Granda. A (2022)

Con referencia a lo que se observa en la Cuadro N°8. Se puede observar que el posible brazo que no cumple con la mayoría de las restricciones impuestas, es el Brazo robótico industrial esférico. Quedando de manera siguiente los brazos robóticos siguientes a considerar:

Brazos robóticos:

- **B2:** Brazo robótico industrial antropomórfico
- **B3:** Brazo robótico industrial SCARA

Seguidamente, para la selección del mejor brazo robótico se deben aplicar, ciertos criterios los cuales son:

- **C1:** El desplazamiento del robot sea integral y tenga accesibilidad a todos los lados.
- **C2:** Bajo Costo de la materia prima.
- **C3:** La emisión de los humos sean controlados y estén dentro de los estándares ambientales.
- **C4:** Que la capacidad del robot repita los movimientos humanos los cuales tienen gran maniobrabilidad, rapidez, de eslabones pequeños

Ponderación de los criterios

Ponderación del 1 al 5

	P1	P2	P3	P4	P5
C1			✓		
C2		✓			
C3				✓	
C4					✓

Cuadro Nro. 9

Fuente: Granda. A (2022).

Se llega a la conclusión que el criterio cuatro tiene mayor ponderación.

	C1	C2	C3	C4	Número de Veces	Pcx
C1					2	3
C2	C3				3	2
C3	C2	C3			1	4
C4	C4	C4	C4		4	5
Orden de Importancia	3ro	2do	1ro	4to		

Cuadro Nro. 10

Fuente: Granda. A (2022).

Etapa ponderación del brazo robótico de acuerdo a cada criterio.

Respecto al Criterio 1

C1	B2	B3	Número de Veces	Px1
B2			4	5
B3	B2		1	2
Orden de Importancia	1ro	2do		

Cuadro Nro. 11

Fuente: Granda. A (2022).

Respecto al Criterio 2

C2	B2	B3	Número de Veces	Px2
B2			4	5
B3	B2		2	3
Orden de Importancia	1ro	2do		

Cuadro Nro. 12

Fuente: Granda. A (2022).

Respecto al Criterio 3

C3	B2	B3	Número de Veces	Px3
B2			3	4
B3	B2		1	2
Orden de Importancia	1ro	2do		

Cuadro Nro. 13

Fuente: Granda. A (2022)

Respecto al Criterio 4

C4	B2	B3	Número de Veces	Px4
B2			3	3
B3	B2		0	1
Orden de Importancia	1ro	3ro		

Cuadro Nro. 14

Fuente: Granda. A (2022).

Se efectúan las siguientes sumatorias para cada uno de los brazos robóticos.

B2	PCx * P1x	RESULTADO
PC1	3 * 5	15
PC2	4 * 5	20
PC3	5 * 4	20
PC4	2 * 3	6
	Σ	61

Cuadro Nro. 15

Fuente: Granda. A (2022).

B3	PCx * P2x	RESULTADO
PC1	3 * 2	6
PC2	4 * 3	12
PC3	5 * 2	10
PC4	2 * 1	2
	Σ	30

Cuadro Nro. 16

Fuente: Granda. A (2022).

Resultado final de la solución:

- Brazo Robótico 2 (Antropomórfico): 61
- Brazo Robótico 3 (SCARA): 30

Se concluye que se selecciona es el brazo robótico número 2, ya que es el que satisface los criterios debido a que posee el puntaje más alto.

4.3.3 Selección

Al analizar las diferentes configuraciones, se encontró que, para garantizar una adecuada velocidad en la trayectoria, la mejor configuración fue la de un robot antropomórfico. Pues su baja carga inercial permite diseñar piezas más sencillas. El tener piezas más sencillas y una baja carga inercial permite que el proceso de soldadura pueda ser más precisa y la mejor opción para una estandarización de esta. Dado esto, el diseño que se elaboraría sería un robot con una morfología de este tipo que fuera de 6 ejes: 3 para ubicar el efector final y 3 para orientación girándolo respecto al eje vertical y horizontal.

4.3.4 Diseño de la estructura de soporte del brazo robótico

El diseño de la estructura del brazo robótico se realizó mediante la utilización de un programa que nos permitió dibujar cada una de las piezas de una manera fácil; hay que especificar que la forma de la estructura es un conjunto recopilado de diversos diseños encontrados de brazos robótico ya existentes, de los cuales se obtuvo ideas que dieron la forma definitiva en la que se lo construiría y es la siguiente:

Diseño de la Base:

Para la base del Brazo Robótico, previamente se ideó la forma deseada para su diseño, en el programa se dibujó la base en 2 dimensiones, estableciendo las medidas definidas en la Figura 20 y se procedió a la extracción, es decir, se forma un sólido de la representación de la base en 2 dimensiones para transformarla en una de 3 dimensiones en la Figura 21:

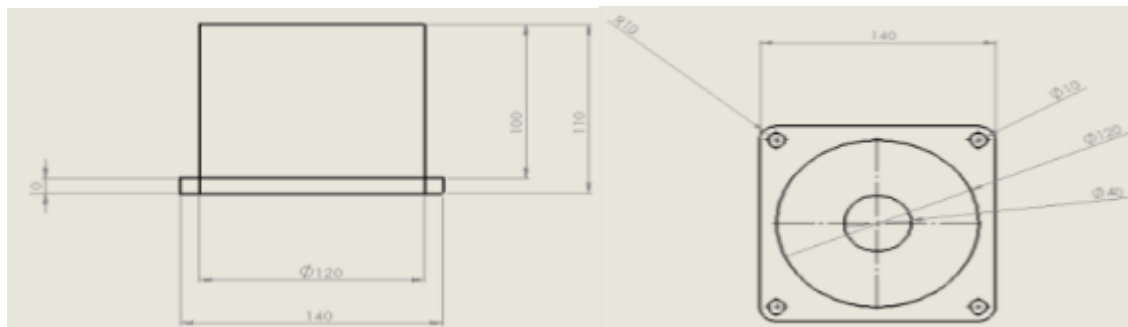


Figura 20: Base de robot en 2D.

Fuente: Granda. A. (2022)

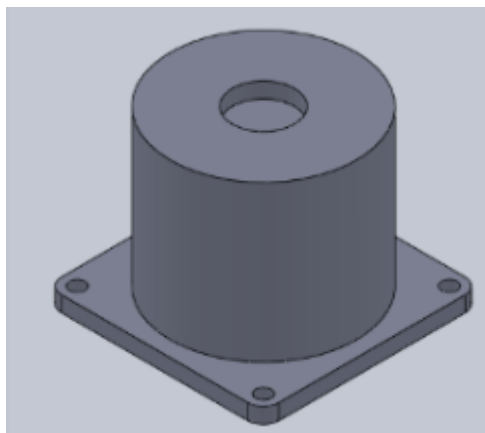


Figura 21: Base de robot en 3D.

Fuente: Granda. A. (2022)

Diseño de cuerpo:

Para el cuerpo del Brazo Robótico, previamente se dibujó el cuerpo en 2 dimensiones, estableciendo las medidas definidas en la Figura 22 y se procedió a la extracción, es decir, se forma un sólido de la representación de la base en 2 dimensiones para transformarla en una de 3 dimensiones en la Figura 23:

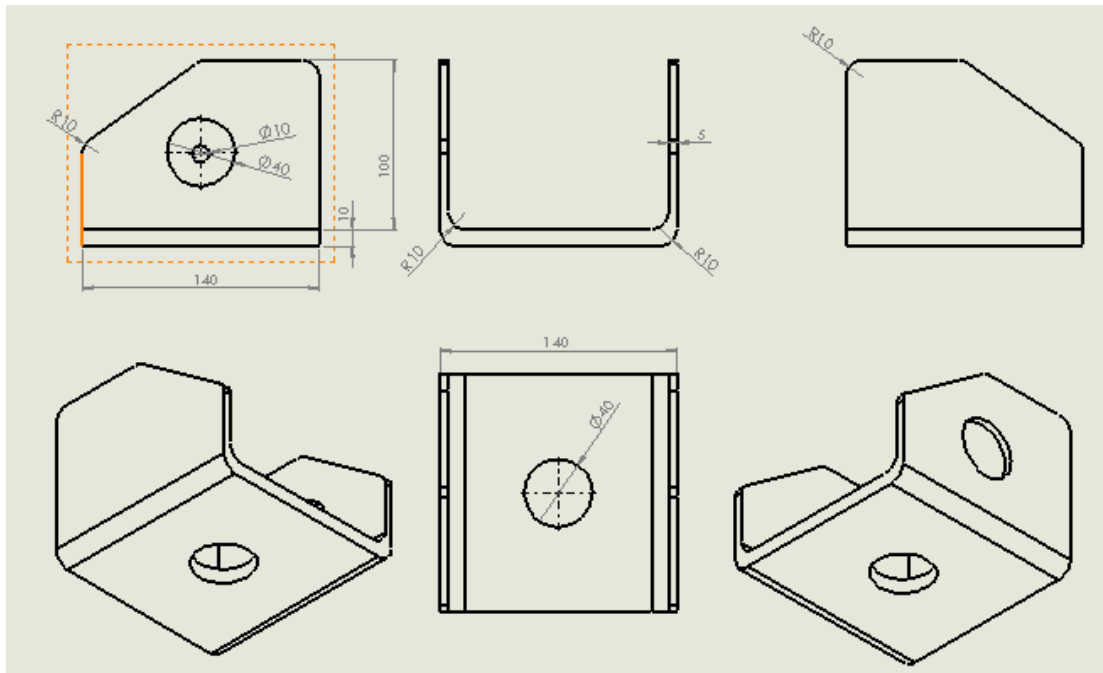


Figura 22: Cuerpo de robot en 2D.

Fuente: Granda. A. (2022)

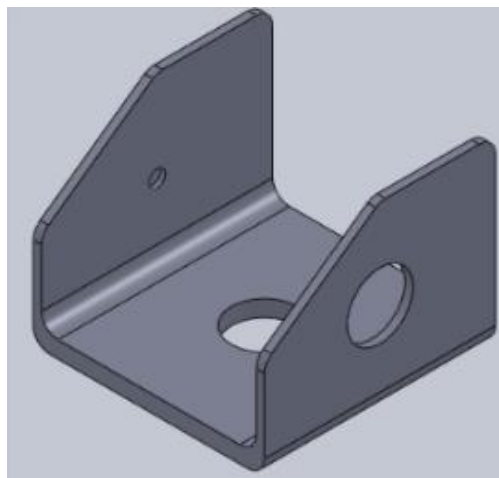


Figura 23: Cuerpo de robot en 3D.

Fuente: Granda. A. (2022)

Diseño del hombro:

Para el Hombro del Brazo Robótico, previamente se dibujó el cuerpo en 2 dimensiones, estableciendo las medidas definidas en la Figura 24 y se procedió a la extracción, es decir, se forma un sólido de la representación de la base en 2 dimensiones para transformarla en una de 3 dimensiones en la Figura 25:

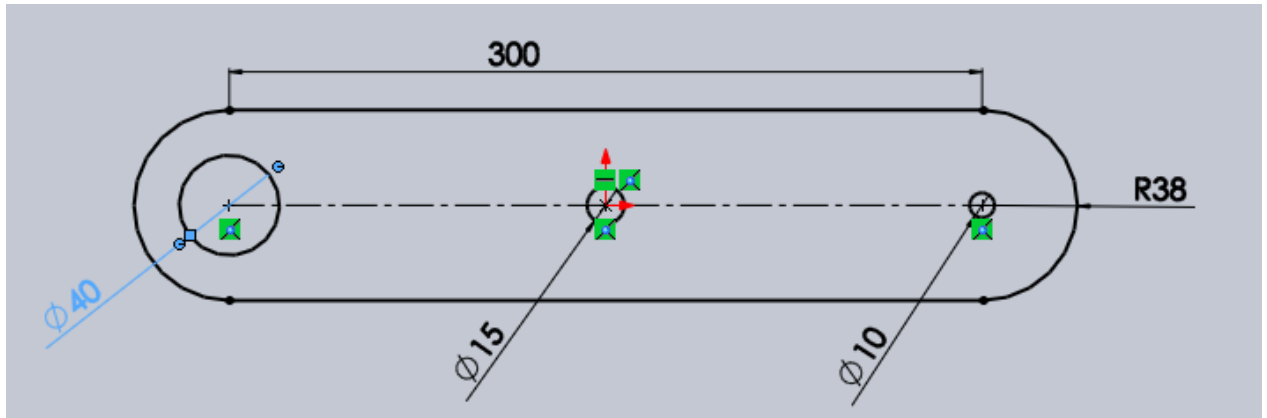


Figura 24: Hombro de robot en 2D.

Fuente: Granda. A. (2022)

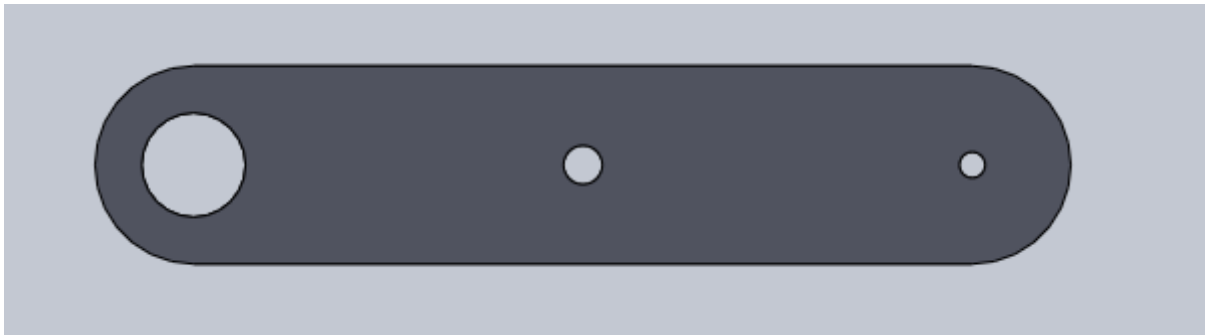


Figura 25: Hombro de robot en 3D.

Fuente: Granda. A. (2022)

Diseño de codo:

Para el codo del Brazo Robótico, previamente se dibujó el cuerpo en 2 dimensiones, estableciendo las medidas definidas en la Figura 26 y se procedió a la extracción, es decir, se forma un sólido de la representación de la base en 2 dimensiones para transformarla en una de 3 dimensiones en la Figura 27:

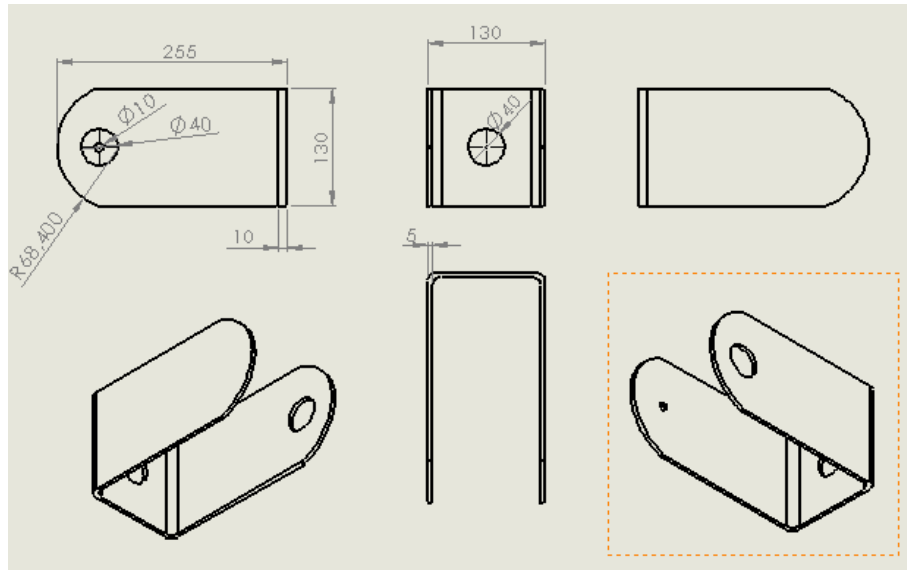


Figura 26: Codo de robot en 2D.

Fuente: Granda. A. (2022)

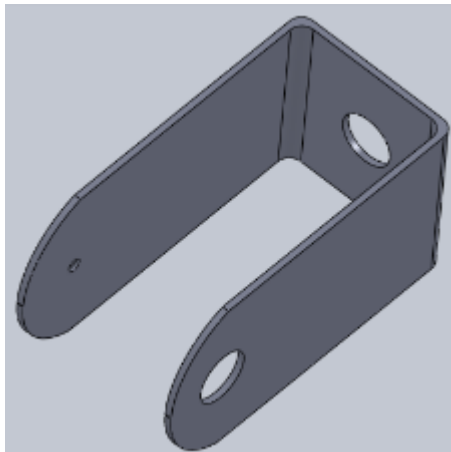


Figura 27: Codo de robot en 3D.

Fuente: Granda. A. (2022)

Diseño de Ante-efector:

Para el Ante-efector del Brazo Robótico, previamente se dibujó el cuerpo en 2 dimensiones, estableciendo las medidas definidas en la Figura 28 y se procedió a la extracción, es decir, se forma un sólido de la representación de la base en 2 dimensiones para transformarla en una de 3 dimensiones en la Figura 39:

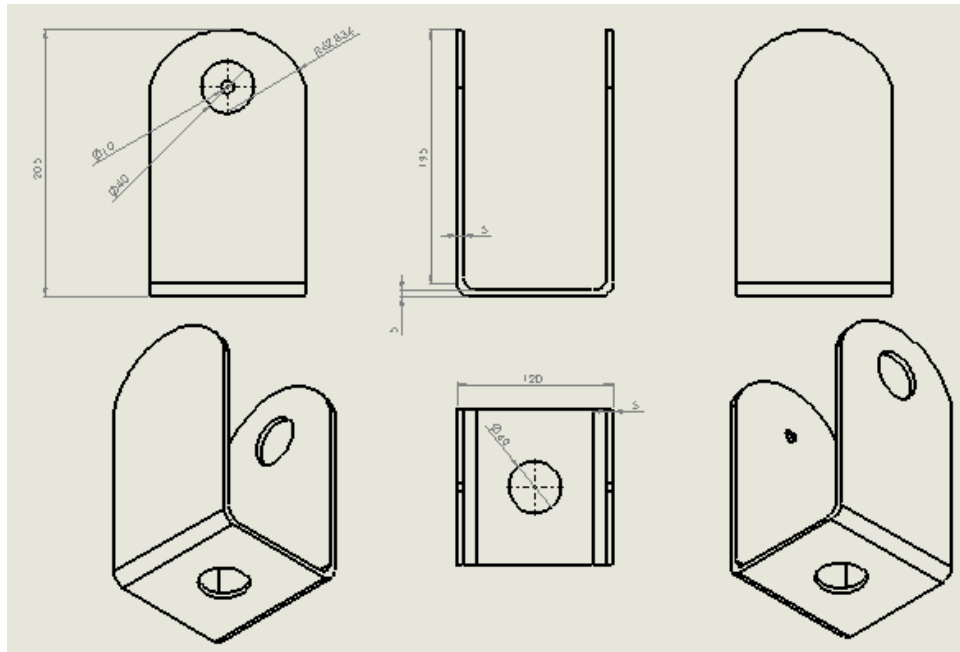


Figura 28: Antefector de robot en 2D.

Fuente: Granda. A. (2022)

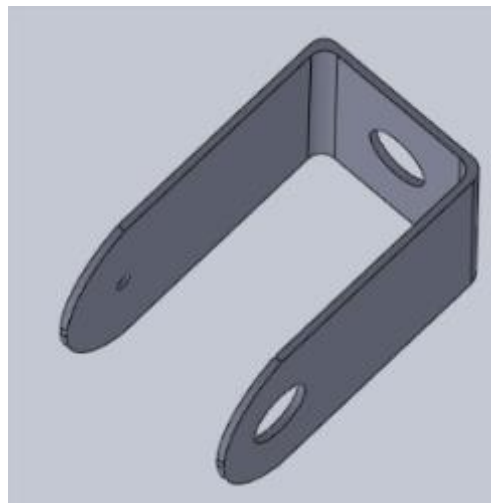


Figura 29: Antefector de robot en 3D.

Fuente: Granda. A. (2022)

Diseño de plancha de base:

Para la plancha de la base del Brazo Robótico, previamente se dibujó el cuerpo en 2 dimensiones, estableciendo las medidas definidas en la Figura 30 y se procedió a la extracción, es decir, se forma un sólido de la representación de la base en 2 dimensiones para transformarla en una de 3 dimensiones en la Figura 31:

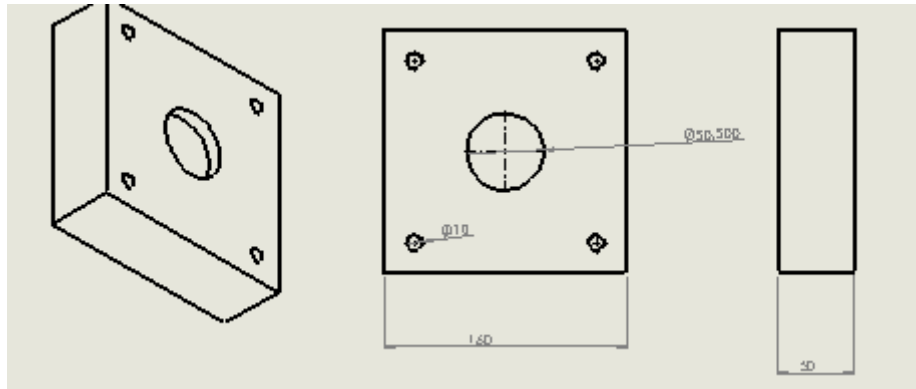


Figura 30: Plancha de base de robot en 2D.

Fuente: Granda. A. (2022)

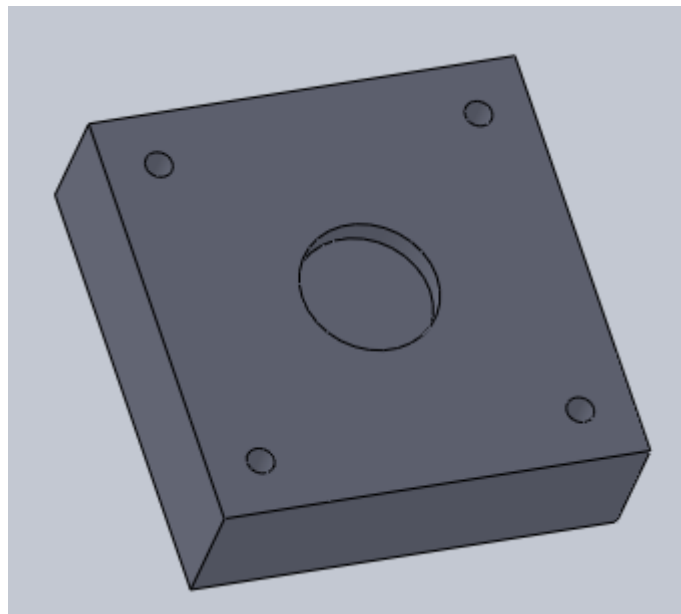


Figura 31: Plancha de base de robot en 3D.

Fuente: Granda. A. (2022)

Diseño de riel de Brazo robótico:

Para el Riel del Brazo Robótico, previamente se dibujó el cuerpo en 2 dimensiones, estableciendo las medidas definidas en la Figura 32 y se procedió a la extracción, es decir, se forma un sólido de la representación de la base en 2 dimensiones para transformarla en una de 3 dimensiones en la Figura 33:

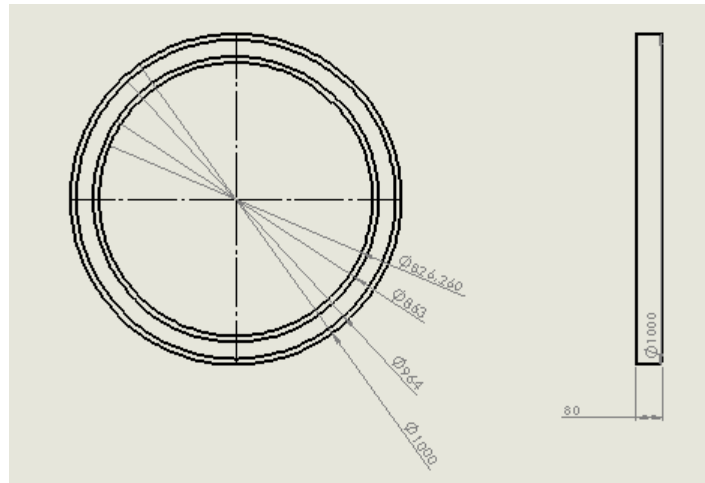


Figura 32: Riel de robot en 2D.

Fuente: Granda. A. (2022)

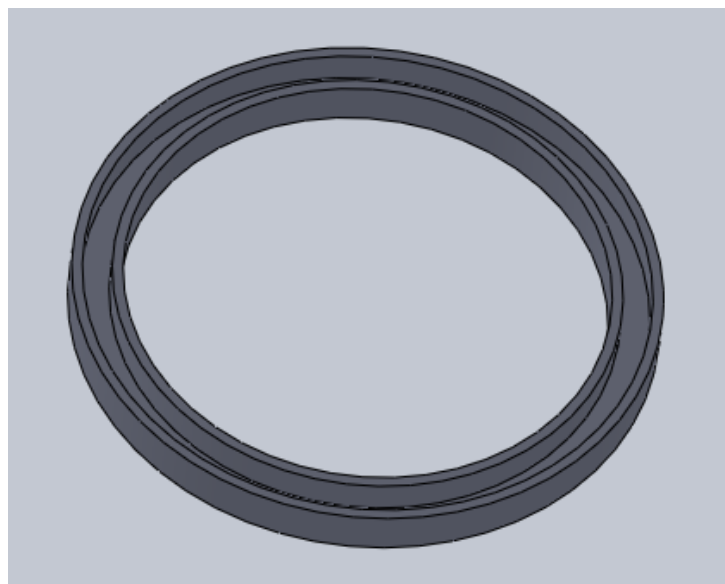


Figura 33: Riel de robot en 3D.

Fuente: Granda. A. (2022)

Diseño de cilindro de riel:

Para el cilindro del Riel del Brazo Robótico, previamente se dibujó el cuerpo en 2 dimensiones, estableciendo las medidas definidas en la Figura 34 y se procedió a la extracción, es decir, se forma un sólido de la representación de la base en 2 dimensiones para transformarla en una de 3 dimensiones en la Figura 35:

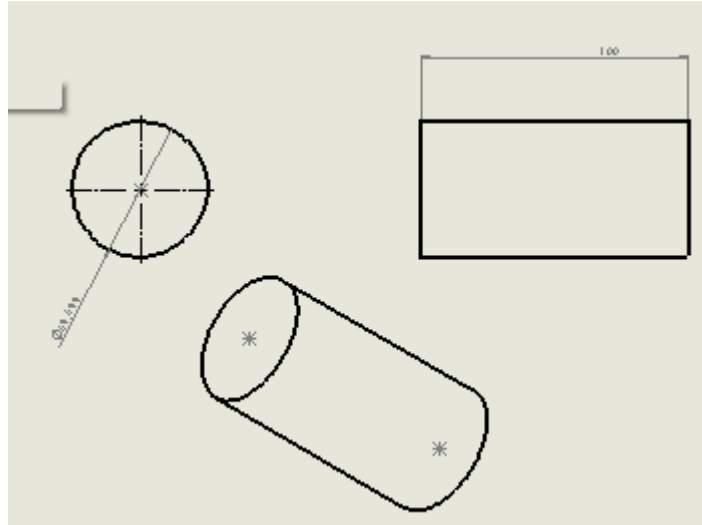


Figura 34: Cilindro de riel de robot en 2D.

Fuente: Granda. A. (2022)

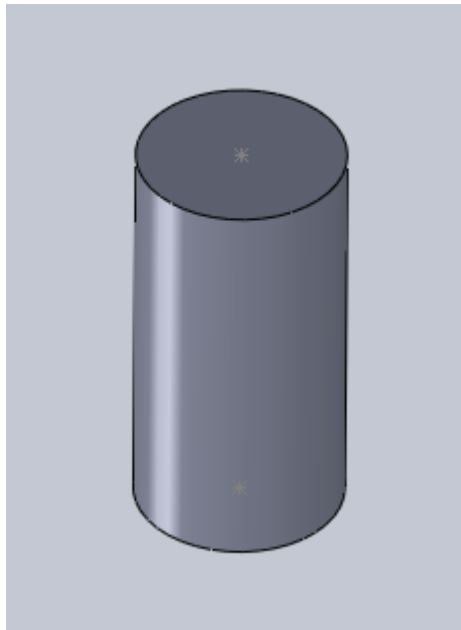


Figura 35: Cilindro de riel de robot en 3D.

Fuente: Granda. A. (2022)

Ensamblado de Brazo robótico:

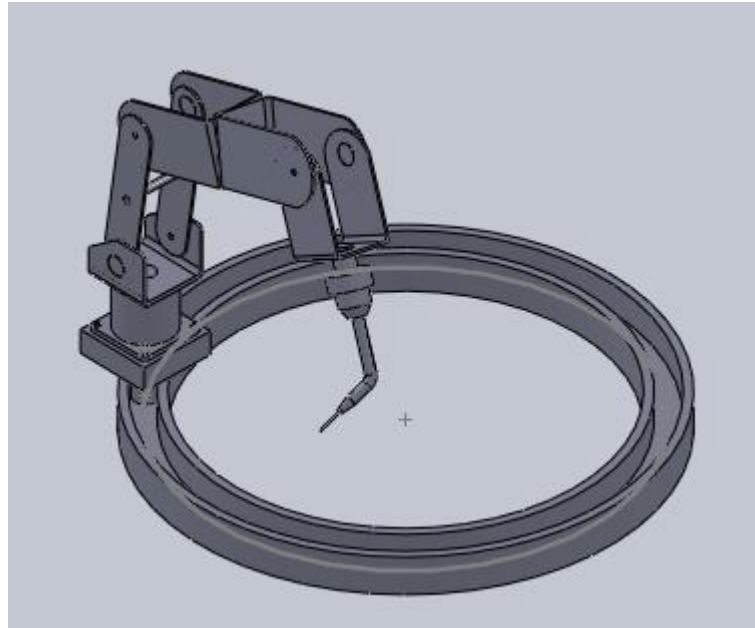


Figura 36: Ensamble de robot en 3D.

Fuente: Granda. A. (2022)

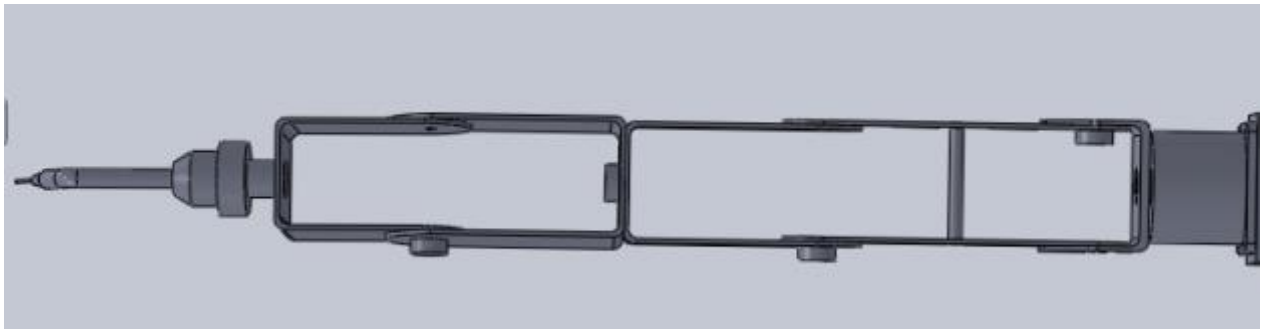


Figura 37: Ensamble de brazo robótico en 3D.

Fuente: Granda. A. (2022)

Análisis térmico del brazo robótico:

Se realizó el estudio térmico del brazo, el cual pudo ser simulado en el programa SolidWorks reflejando que el material si está apto para la propiedad calorífica que se genere a la hora de soldar. **(ver anexos 3)**

Análisis de Esfuerzo limite elástico:

Se realizó el estudio de esfuerzo del brazo arrojándonos un límite de elasticidad conveniente para nuestro brazo robótico **(ver anexo 4)**

4.3.4 Cinemática Directa:

Eslabones y articulaciones

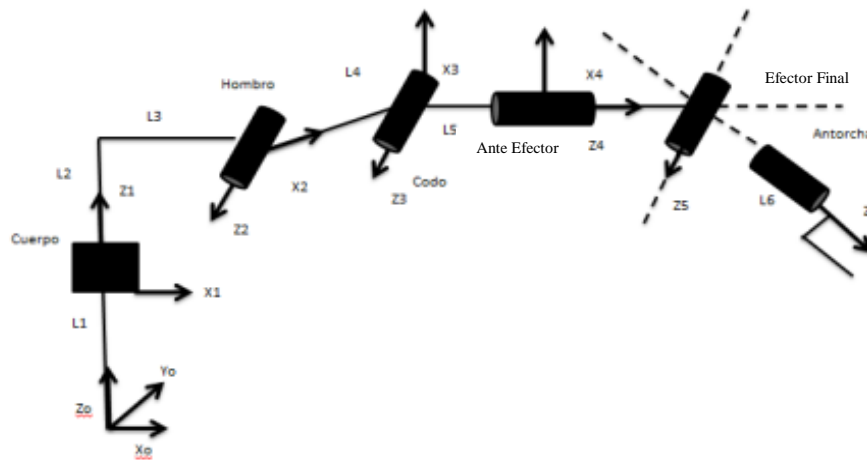


Figura 38: Diagrama de eslabones y articulaciones.

Fuente: Granda. A. (2022)

Se calculó la cinemática directa usando el método de la matriz D-H el cual se modificó para encontrar los cambios desde el punto de origen hasta “w” y se facilitaron los cálculos (ver cuadro 17)

Cuadro N°17: Denavit-Hartenberg (DH)

N°	Alpha (i-1)	a (i-1)	Theta (i)	d(i)
1	0	0	q1	L1+L2
2	pi/2	L3	q2	0
3	0	L4	q3+pi/2	0
4	pi/2	L5+L6	q4	0
5	-pi/2	0	q5	0
6	pi/2	0	q6	0

Fuente: Granda. A (2022)

4.3.5 Selección de Motores.

Para la ubicación de los motores que darán accionamiento a cada uno de los articulaciones del brazo, se debe determinar el lugar adecuado, de manera que se mejorará el funcionamiento del sistema y no se llegará a sobre cargar la estructura, evitando el sobrecalentamiento del motor, disminuyendo su vida de operatividad. Se hicieron cálculos

respectivos a las ecuaciones 1, 2, 3, 4, 5, 6 y poder saber así el torque requerido por cada motor. (Ver Anexo 1 y 2).

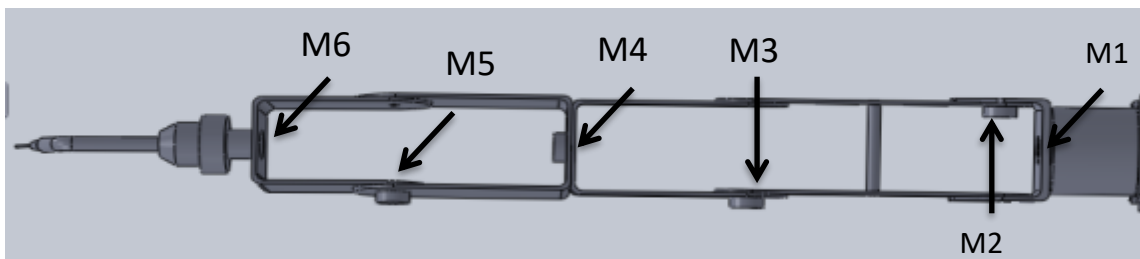


Figura 39: Señalización de motores.

Fuente: Granda. A. (2022)

Seguidamente en los motores M1, M4, M6 se encontró el torque por medio de la velocidad angular de un motor Nema23 con planetario y el momento de inercia de cada pieza.

$$M1 = \frac{144rad}{seg^2} * \left(\frac{3kg}{12}\right) * ((0.1m)^2 + (0.15)m^2) = 2N.m \quad (1)$$

$$M4 = \frac{144rad}{seg^2} * \left(\frac{2kg}{12}\right) * ((0.08m)^2 + (0.08)m^2) = 0.15 N.m \quad (2)$$

$$M6 = \frac{144rad}{seg^2} * \left(\frac{1kg}{12}\right) * ((0.08m)^2 + (0.08)m^2) = 0.075N.m \quad (3)$$

Luego los motores M2, M3, M5 se calcularon su torque multiplicando la fuerza que debería hacer cada uno por la distancia que tenía hasta el centro de masa del robot.

$$M2 = 0.2426m * 41.16N = 10N.m \quad (4)$$

$$M3 = 0.0537m * 34N = 1.8N.m \quad (5)$$

$$M5 = 0.3566m * 9.35N = 3.4N.m \quad (6)$$

Obteniendo los datos se seleccionaron los motores Nema23 con Planetario por tener un bajo costo y proporcionar el torque necesario, ubicándolos de la siguiente manera.

M1 = Nema23 planetary de 6N.m

M2 = Nema23 planetary de 15N.m

M3 = Nema23 planetary de 6N.m

M4 = Nema23 planetary de 6N.m

M5 = Nema23 planetary de 6N.m

M6 = Nema23 planetary de 6N.m

4.4 Fase IV: Evaluación de la viabilidad económica, técnica, operativa, ambiental y social del brazo diseñado.

4.4.1 Viabilidad Económica:

Se realizó un análisis de costos para conocer cuál fue el precio total de la fabricación, materiales y mano de obra del diseño del brazo robótico, así mismo se detallaron cuáles fueron los costos implícitos en la elaboración de la ingeniería de diseño. Por otra parte, ya que este proyecto requirió la financiación de un prototipo, es necesario mostrar cuales fueron los costos totales de su fabricación.

Financiamiento del Brazo Robótico

Cuadro N° 19 Financiamiento

N°	Material	Precio unitario	Cantidad	Precio total
1	Lamina de aluminio 5mm	300\$	2	600\$
2	Servomotor Nema 23 50:1 6N.m	48\$	2	96\$
3	Servomotor Nema 23 10:1 15N.m	55\$	4	220\$
4	Tornillos de ¼"x12	4\$	4	16\$
5	Arandela	1\$	4	4\$
6	Tuerca	2\$	4	8\$
7	Servicio de ingeniería	1888\$	1	1888\$

Fuente: Granda. A (2022)

4.4.2 Viabilidad Técnica:

El propósito es convertir esta técnica en un proceso más eficiente, seguro y preciso. Se ofreció una solución a esta problemática que no solo contribuye al mejoramiento de los procesos y productos de la empresa y a su desarrollo tecnológico, sino también al mejoramiento de la calidad de vida de los colaboradores: Gracias a la capacidad de ser fácilmente programables,

mover materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales, los robots tiene gran utilidad en un entorno de estandarización de un producto y de un proceso determinado. Esto se logra a través de componentes fundamentales que conforman los robots industriales como su estructura mecánica, actuadores, sensores y sistemas de control enfocados a acciones específicas.

4.4.2 Viabilidad Operativa:

La reducción de los tiempos logísticos ha forzado a las compañías a automatizar procesos para lograr la máxima productividad. Buen ejemplo de ello es la popularización de los brazos robóticos industriales, pues agilizan las tareas repetitivas que anteriormente se asignaban a un operario. De hecho, esta es una tecnología que no solo mejora la eficiencia en producción y logística, sino que permite llevar a cabo automáticamente sin intervención humana la carga de objetos pesados y operativos que requieren una elevada precisión. Es este el motivo por el cual cada vez son más las compañías que apuestan por esta solución.

La soldadura robotizada utiliza herramientas programables mecanizadas (robots) con las que se realiza un proceso de soldadura de forma completamente automática, tanto la operación de soldado como el sostenido de la pieza a soldar.

Generalmente, la soldadura robotizada se utiliza por la soldadura por puntos y la soldadura por arco. La soldadura robotizada se aplica en la fabricación de series largas, como es el caso de la industria del automóvil. La soldadura robotizada es una aplicación relativamente nueva de la robótica, que empezó en la década de los ochenta del siglo pasado, cuando la industria del automóvil empieza a usar robots masivamente para la soldadura por puntos.

El/la operario/a de soldadura por robot tiene que saber manejar y mantener el robot de soldadura, desde la programación hasta la resolución de todo tipo de incidencias.

4.4.3 Viabilidad ambiental:

Los posibles daños causados al medio ambiente al momento de realizar la fabricación de las piezas del prototipo del brazo robótico, así mismo se evaluó el impacto ambiental en el que incurre el brazo robótico cuando está en funcionamiento. La contaminación también se produce durante el proceso en que se construyen los robots. Para construir un brazo mecánico se necesita fundir metal y con eso se produce y cuando sobran piezas resultantes de una fabricación, estas

piezas son desechadas y con esto también son consideradas como contaminación al medio ambiente, una contaminación a la atmosfera.

Al cumplir con su ciclo los robots son desechados. Lo cual provoca la contaminación de las tierras y aguas. Pues los robots se componen de varios elementos que se desprenden y no tienen un paradero seguro.

Dado que las maquinas utilizadas para fabricar el prototipo requieren de una alta cantidad de energía eléctrica, se recomienda no usarlas por largos periodos de tiempo para ahorrar energía. Por último, se recomienda que las maquinas operen a una hora en la cual el ruido producido por estas no sea molesto para las personas que se encuentran cerca al sitio de trabajo.

4.4.5 Viabilidad Social:

El ser humano desde sus inicios ha buscado la manera de adaptarse y modificar su estilo de vida, desde las condiciones más difíciles ha surgido la manera de facilitar la condición de vida humana, de mejorar su calidad y de facilitar maneras productivas de trabajos que reduzcan el esfuerzo físico del hombre en sus tareas cotidianas. La robótica, según se define es la ciencia que estudia el diseño y construcción de máquinas inteligentes, es un conjunto de conocimientos teóricos y prácticos que permiten desarrollar la idea de realizar y automatizar sistemas basados en estructuras poli articuladas. Estas máquinas son fabricadas con cierta capacidad intelectual y están destinadas a la producción.

Cuadro N°18: Ventajas y Desventajas viabilidad social

Ventajas	Desventajas
Mayor precisión sin cansancio	Reemplazamiento de mano de obra humana.
Tareas peligrosas	Cambio de paradigma.
Realidad Ampliada	Pueden ser hackeados por alguien para cambiar tareas
Mayor velocidad	
Reducción de costos	
Pueden ir a donde el humano no puede.	
Pueden hacer tareas que para el ser humano son mortales	

Fuente: Granda. A (2022)

CONCLUSIONES

El seguimiento de procedimientos y normativas en los procesos de soldadura es bastante crítico en la cual toda persona capacitada debe de regirse, por lo tanto, la idea de llevar la soldadura automatizada más allá, es más fuerte aun en nuestras industrias ya que evitan riesgos personales en los trabajadores in situ. Se estudiaron los procesos de soldadura de forma documental, y basándonos en las normativas correspondientes que conllevan los procesos de soldadura.

Partiendo de allí la selección del proceso más viable y utilizado en las industrias metalmeccánicas actualmente. Se realiza un diagnóstico integral, de tipo cuantitativo y cualitativo, basado en entrevistas semiestructuradas a los expertos en el área y observación directa al sistema de gestión de los procesos de soldadura actual, cuyos resultados indican que se encuentra en una situación desfavorable, así como también la inclusión de los trabajadores de la planta mediante entrevistas semiestructuradas, lo cual conduce a recabar información de primera mano sobre la situación actual.

Para el cálculo de la cinemática se debe tener en cuenta la geometría de la herramienta para soldadura la cual al no ser totalmente recta hace que produzca un desfase que se debe tener en cuenta en los cálculos. La simulación de las trayectorias define que el proceso tiene un alto índice de estandarización en la aplicación de la soldadura y por consiguiente representa una mejora en la calidad de la producción de un lote de piezas. Si bien es cierto existen en el mercado diferentes soluciones robóticas que podrían cumplir con la tarea a cabalidad, el diseño de este robot facilita la automatización de la soldadura, permite una oportuna garantía y asistencia técnica por parte del desarrollador, sin incurrir en parálisis laboral por parte de las empresas.

Además, deja abierto un importante campo de acción para las nuevas generaciones de ingenieros, en elaboración de robots manipuladores permitiendo así elaborar nuevas estructuras y nuevos algoritmos de programación que contribuyan a elevar la ciencia, tecnología, innovación y competitividad.

RECOMENDACIONES

- Establecer correctamente parámetros iniciales, de los cuales se partirá con el diseño, de manera que se pueda obtener como resultado un brazo de eficiente operatividad.
- Evaluación de los riesgos de seguridad en la robótica industrial; Los empresarios industriales deben asegurarse de que los trabajadores entiendan y reconozcan estos peligros de trabajar con robots. Para empezar, incluso antes de que la empresa utilice cualquier robot, es esencial realizar una evaluación de riesgos durante la fase de diseño del mismo.
- Reducir de los costes laborales y mejora de la seguridad de los trabajadores; La soldadura manual tiene un elevado costo total de propiedad, teniendo en cuenta la capacitación, la gestión y las precauciones de seguridad de su equipo. Protegerse contra el calor y los humos es un desafío. Con la automatización de la soldadura, puede reducir la cantidad de tiempo y dinero que se dedica a la capacitación y el personal de los técnicos de soldadura, mantener a sus trabajadores libres de celdas de soldadura y concentrarse en completar los proyectos.
- Reduce mucho más los reducidos; Con la automatización de soldadura, podemos marcar y regular las variables del proceso para un mejor control y velocidades de desplazamiento más rápidas. Los sistemas de soldadura automatizados funcionan de manera eficiente, lo que reduce el tiempo sin soldar y el desperdicio de tiempo sin valor agregado por parte de su fuerza laboral humana. Los robots de soldadura son precisos y consistentes, lo que reduce los errores, los materiales desperdiciados y el tiempo invertido. Esta eficiencia conduce a soldaduras de alta calidad utilizando menos recursos.
- Realización de una modificación eventual del diseño del brazo robótico, para poder minimizar los momentos de inercia de los motores del brazo y estos sean trasladados a la base del diseño del brazo, para que el movimiento pueda ser transmitido a través de (correas, cadenas, engranes, etc.). Por definición, la inercia describe dónde un objeto se resiste a los cambios de velocidad. Determinando la inercia la cual requiere de múltiples cálculos. Esto incluye la recolección de datos para la masa total de la carga, la forma de la carga y cómo se distribuye la masa sobre la propia carga. En pocas palabras, qué es lo que el robot necesita al elevarse y en qué dirección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SERVOMOTOR** 2010-2022 **AliExpress.com.**
<https://es.aliexpress.com/i/4001024590695.html>
- Arias D., Vilema M., (2020) Trabajo **especial de grado titulado**: “Elaboración de un prototipo de brazo robótico industrial didáctico automatizado para proceso de soldadura GMAW.”
- Arias F. (1999). **El Proyecto de Investigación**. Guía para su elaboración. 3ra. ed. Editorial Episteme. Caracas. República Bolivariana de Venezuela.
- Arias F. (2012). **El Proyecto de Investigación**. Guía para su elaboración. 6ta. ed. Editorial Episteme. Caracas. República Bolivariana de Venezuela.
- Arias F. (2012). **Metodología de la investigación - urbe** Trabajo publicado. Universidad Privada Dr. Rafael Beloso Chacín.
- Arias, F. (2012). **El Proyecto de Investigación**. 6ta ed. Editorial Episteme. Caracas. República Bolivariana de Venezuela.
- Aular, M. (2014) **Instructivo para la Transcripción de los Proyectos de Investigación**, Valencia, Venezuela.
- Automatización PRO 2022**. Disponible en: <https://automatizacion.pro/soldadura-robotizada/robots-soldadores/>
- Baez C., Maya D (2020). **Proyecto de Grado**: “Desarrollo de metodología de programación en procesos de soldadura robotizada aplicado a geometrías complejas a partir de modelos CAD 3D, optimizando tiempo de programación y ejecución.”
- Bernal, T.C.A. (2006). **Metodología de la Investigación para Administración, Economía, Humanidades y Ciencias Sociales**. 2da. Ed. Pearson. Colombia.
- Calderón (2015) **Trabajo de investigación** “Diseño e Implementación de un Brazo Robótico Basado en la Plataforma Arduino”,
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). Norma Venezolana COVENIN 979-78. **Medidas de seguridad en el proceso de soldadura al arco para distintos riesgos.**
- Copyright © 1995-2022 eBay Inc.SERVOMOTOR
<https://www.ebay.com/itm/254687280823>

De Máquinas y Herramientas (2018) Soldadura con tecnología SMAW

Esneca Business School (2019) Brazo Robótico

Hernández, Fernández, Baptista (2008). **Investigación Descriptiva**. Disponible en:
<http://virtual.urbe.edu/tesispub/0088963/cap03.pdf>

INFRA (2020) Equipo de Soldadura

ITW WELDING PRODUCT GRUP (2021) Equipo Básico de Soldadura

ITW WELDING PRODUCT GRUP. (2021) Clasificación AWS A5.1 para Electroodos

Martínez, M. (2006). **Validez y Confiabilidad en la metodología cualitativa**. Revista Paradigma v.27 n.2 Maracay dic. 2006.

Metalización, servicios y representaciones. (2021) Metalización.

Montenegro G., Yaguachi L., (2020) **Trabajo especial de grado titulado:** “Diseño, construcción y control de un prototipo de brazo robótico antropomórfico para la soldadura por punto de diferentes figuras, mediante el uso de cinemática inversa y visión artificial.”

Morales, k. Hoyos, C. García, J. (2019). **Proyecto de investigación titulado:** Diseño y optimización de la estructura mecánica de un brazo robótico antropomórfico desarrollado con fines educativos.

Ollero (2001). **Robot**. Escuela Politécnica Nacional.

Plataforma tecnológica para la gestión de la excelencia. **Norma ISO 14224. Industrias del petróleo, petroquímica y gas natural -Recolección e intercambio de data de confiabilidad y mantenimiento para equipos.**

Plataforma tecnológica para la gestión de la excelencia. **Norma ISO 31000 Sistemas de Gestión de Riesgos.**

Revista Constructivo. (2022) Equipo de protección

Revista de robots (2019) Soldadura SMAW

Reyes (2011) **Metodología de la investigación**. Trabajo publicado. Universidad Privada Dr. Rafael Beloso Chacín

Ruiz-Velasco (2007). **Metodología de la investigación**. Trabajo publicado. Universidad Privada Dr. Rafael Beloso Chacín

SICMA21 (2021) Robot antropomórfico o de brazo articulado

SICMA21 (2021) Robot Cartesiano

SICMA21 (2021) Robot Cilíndrico

SICMA21 (2021) Robot Delta

SICMA21 (2021) Robot esférico

SICMA21 (2021) Robot SCARA

Tamayo (2012). **Población de la investigación.** Disponible en: https://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.com/2013/08/que-es-la-poblacion.html?m=0#_ftn1

Tamayo y Tamayo (2000). **Investigación Documental.** Disponible en: <https://virtual.urbe.edu/tesispub/0093219/cap03.pdf>

Torres, J. Yate, J. López, S. (2020). **Proyecto de Grado:** Diseño de brazo robótico remoto para reducir crisis en el campo médico promoviendo el distanciamiento social en el marco de la contingencia sanitaria del COVID-19.

VLD Engineering (2019) Brazo soldador por Arco

VLD Engineering (2019) Brazo soldador por Laser

VLD Engineering (2019) Brazo soldador por Punto

W. Bolton, (2016) **Mecatrónica.** Manufacturing Technology

ANEXOS

Anexo 1

Datos del Servomotor nema 23 6N.m



Descripción de las características:

Bajo nivel de ruido

Velocidad ajustable

Características de larga duración

Par alto

Descripción del producto:

Parámetros técnicos		Etapa 1	Etapa 2
Relación		5,10	15,20,25,30,40,50,100
Longitud	Mm	53	70
load clasificado	N.m	6	25
Max load	N.m	12	40
Eficiencia	%	95	90
Contragolpe	Arcmin	≤ 15	≤ 25
Peso	Kg	0,8	1,1

Anexo 2


Datos del Servomotor nema 23 15N.m

二相混合式步进电机(2 Phase Hybrid Stepper Motors)

57mm Series 1.8°/step

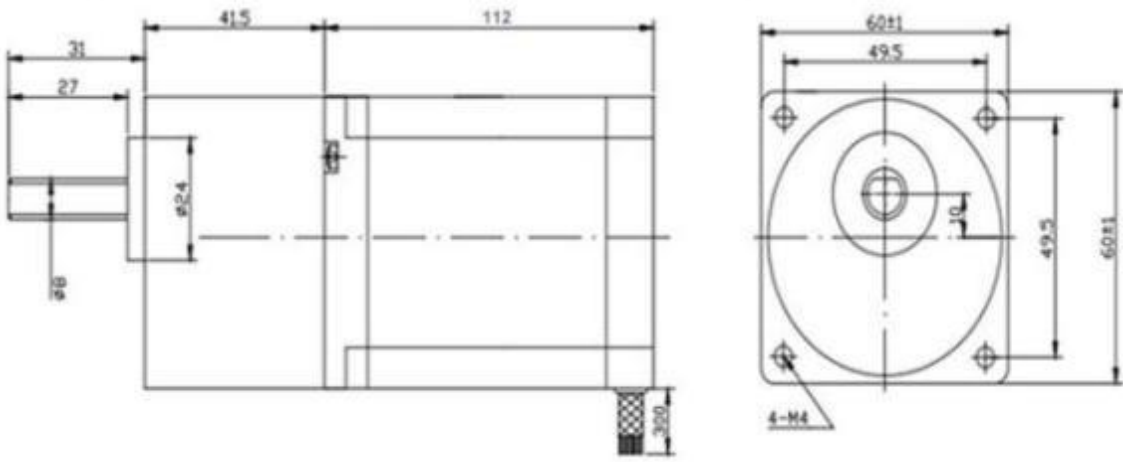
产品技术条件 (General Specifications):

Item	Specifications	Step
Angle Accuracy	步距精度	±5%
Resistance Accuracy	电阻精度	±10%
Inductance Accuracy	电感精度	±20%
Temperature Rise	温升	80°C Max.
Ambient Temperature	环境温度	-20°C~+50°C
Insulation Resistance	绝缘电阻	100MΩ Min. 500V DC
Dielectric Strength	耐压	500V AC 1min



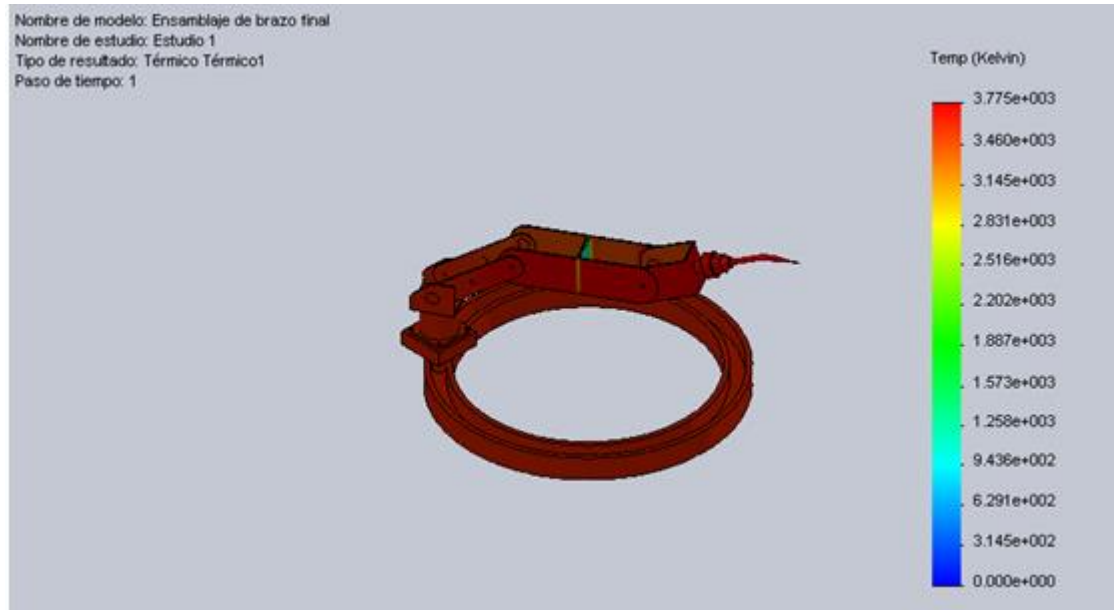
技术数据 (Electrical Specifications):

Model	Gear Ratio	step angle (°)	Rated Current (A)	Phase Resistance (Ω)	Phase Inductance (mH)	Holding Torque (N.m)	Detent Torque (N.cm)	Rotary Inertia (g.cm ²)	Motor length (mm)	Lead Wire
57HS11242A4	7.5:1	1.8	4.2	1.4	3.5	22.5	12	800	112	4
	10:1	1.8	4.2	1.4	3.5	30	12	800	112	4
	15:1	1.8	4.2	1.4	3.5	45	12	800	112	4
	20:1	1.8	4.2	1.4	3.5	60	12	800	112	4
	30:1	1.8	4.2	1.4	3.5	90	12	800	112	4



Anexo 3

Análisis térmico del brazo robótico



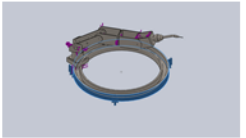
Propiedades del estudio

Nombre de estudio	Estudio 1
Tipo de análisis	Térmico(Estado estable)
Tipo de malla	Malla sólida
Tipo de solver	FFEPlus
Tipo de solución	Estado estable
¿Se definió la resistencia de contacto?	No
Carpeta de resultados	Documento de SolidWorks (C:\Users\alirio\Dropbox\Mi PC (alirio-PC)\Desktop\Ensamblado del brazo)

Anexo 4

Análisis de esfuerzo del brazo

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultantes
Fuerzas de reacción(N)	55.9413	-0.077532	-90.1903	106.131
Momento de reacción(N-m)	0	0	0	0

Propiedades del estudio

Nombre de estudio	Estudio 2
Tipo de análisis	Estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SolidWorks Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automática
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SolidWorks (C:\Users\alirio\Dropbox\MI PC (alirio-PC)\Desktop\Ensamblado del brazo)

