



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA DE ACOUPLE PARA EL PROCESO
DE SOLDADURA MIG APLICADA AL ROBOT KUKA KR5**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Mecatrónico

**AUTORES: BRYAM FERNANDO CABRERA SARMIENTO
MILTON JAVIER MARTINEZ AVILES**

TUTOR: ING. OSWALDO ZUMBA RIVERA, MSc.

Cuenca – Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Bryam Fernando Cabrera Sarmiento con documento de identificación N° 0105246318 y Milton Javier Martinez Avilés con documento de identificación N° 0930540091; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 20 de enero del 2022

Atentamente,



Bryam Fernando Cabrera Sarmiento
0105246318



Milton Javier Martinez Avilés
0930540091

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Bryam Fernando Cabrera Sarmiento con documento de identificación N° 0105246318 y Milton Javier Martinez Avilés con documento de identificación N° 0930540091, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño de una herramienta de acople para el proceso de soldadura MIG aplicada al robot KUKA KR5”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecatrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 20 de enero del 2022

Atentamente,



Bryam Fernando Cabrera Sarmiento
0105246318



Milton Javier Martinez Avilés
0930540091

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edison Oswaldo Zumba Rivera con documento de identificación N° 0102371358, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA DE ACOUPLE PARA EL PROCESO DE SOLDADURA MIG APLICADA AL ROBOT KUKA KR5, realizado por Bryam Fernando Cabrera Sarmiento con documento de identificación N° 0105246318 y Milton Javier Martínez Avilés con documento de identificación N° 0930540091, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 20 de enero del 2022

Atentamente,



Ing. Edison Oswaldo Zumba Rivera, Mgrt
0102371358

Dedicatoria

Bryam Cabrera

El presente proyecto de titulación está dedicado:

A Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza para llevar a cabo cada una de las metas que me he propuesto.

A mis padres por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi familia, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi esposa y mi amada hija, demostrando que con esfuerzo y dedicación podemos cumplir nuestras metas.

Milton Martinez Aviles

Quiero dedicar este trabajo principalmente a Dios y mis padres que me han dado la existencia y con lo que conlleva la capacidad por superarme y desear mejorar cada paso por esta vida que es mas competitiva día a día. Gracias por formar parte de lo mas apreciado que tengo y lo mas valioso en mi vida. Su presencia y persona me han ayudado a formar y desarrollar el tipo de persona que soy al día de hoy.

A mis hermanos y maestros que en el andar por la vida han sido motivo de inspiración al superarme. cada uno de ustedes han motivado a cumplir este sueño de forma directa o indirecta.

Agradecimientos

Bryam Cabrera

Agradezco principalmente a Dios por permitirme llegar a cumplir esta meta tan anhelada y por brindarme salud, fuerza e impartirme sabiduría a lo largo del proceso.

Gracias a mis padres, mi esposa y hermano, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Me gustaría además agradecer a mi Tutor de Proyecto de Titulación Ing. Oswaldo Zumba, a quien admiro; por su esfuerzo y dedicación brindados al actual trabajo de titulación, guiando con su paciencia y rectitud como docente.

También quiero agradecer a Ing. Luis López, Ing. Edy Ayala, quienes han estado prestos para solventar cualquier duda presentada y brindar sugerencias.

Milton Martinez

Agradezco profundamente a mis padres por apoyarme al invertir en mis estudios lejos de mi ciudad natal y de su presencia y a mi hermanos, gracias al cariño recibido, apoyo, paciencia y comprensión ha sido posible alcanzar un éxito mas en mi vida académica. A mis amigos y compañeros que compartieron conmigo muchos momentos de estudio y amistad.

Al Ing. Oswaldo Zumba, pues sin su guía no sería posible haber alcanzado un trabajo final de carrera de altísima calidad. Así también mi sincero reconocimiento al Ing, Luis López, Ing. Edy Ayala y a Ing. Mónica Romero.

Finalmente y no menos importante, agradezco de todo corazón a todos mis docentes de esta prestigiosa universidad sin sus conocimientos y su dedicación a la enseñanza no hubiera sido posible este trabajo.

Resumen

El proyecto técnico con enfoque general presenta el "Diseño de una herramienta de acople para el proceso de soldadura MIG aplicada al robot KUKA KR5", disponible en el laboratorio de robótica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. El contenido del proyecto se desarrolla inicialmente en una investigación técnica de la soldadura MIG y el robot KUKA KR5 para identificar las características necesarias que debe tener una herramienta de acople para que el ROBOT KUKA KR5 pueda realizar un proceso de soldadura MIG con unión a tope, luego se desarrolla las fases que permiten el diseño del acople según las necesidades identificadas a partir de la matriz de decisión, la metodología DFMA y análisis de modos de fallo y sus efectos, seguidamente se propone un proceso de soldadura de unión a tope con el robot KUKA KR5 simulado en Matlab estableciendo la cinemática directa, matriz de velocidades, modelo de control y su trayectoria para el proceso de soldadura simulado, finalmente se analiza las ventajas y desventajas del diseño propuesto con un modelo del mercado teniendo en cuenta el tiempo de entrega, costos de fabricación y costo por avería de pieza o mantenimiento.

Palabras clave: Robot KUKA KR5, herramienta de acople, tipo de junta en soldadura, Soldadura mig, Unión a tope.

Abstract

This thesis project proposes a "Design of a coupling tool for the MIG welding process applied to the KUKA KR5 robot", available in the robotics laboratory of the Salesian Polytechnic University, Cuenca. The content of the project is initially developed in a technical investigation of MIG welding and the KUKA KR5 robot to identify the necessary characteristics that a coupling tool must have so that the KUKA KR5 ROBOT can carry out a MIG welding process with butt joint, then the phases that allow the design of the coupling are developed according to the needs identified from the decision matrix, the DFMA methodology and analysis of failure modes and their effects, then a process of butt joint welding with the KUKA KR5 robot simulated in Matlab establishing the direct kinematics, velocity matrix, control model and its trajectory for the simulated welding process, finally the advantages and disadvantages of the proposed design are analyzed with a market model taking into account the delivery time, manufacturing costs and cost per part breakdown or maintenance.

Keywords: KUKA KR5 robot, coupling tool, joint type in welding, mig welding, butt joint.

Índice

Certificado de dirección del trabajo de titulación	I
Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	II
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	VI
Abstract	VII
1. Introducción	1
2. Problema	2
2.1. Antecedentes del problema	2
2.1.1. Herramienta robótica de tres dedos para ambientes y aplicaciones industriales	2
2.1.2. Cambiador automático para tres herramientas del brazo robótico KUKA KR16	3
2.1.3. Acople con sistema de antorcha con giro automático	5
2.1.4. Brida de acople para el modelo KR420 R3080 F	8
2.1.5. Brida de acople para el modelo KR 70 R2100	9
2.2. Descripción del problema	10
2.3. Importancia y alcance	11
2.4. Delimitación	12
3. Objetivos	13
3.1. Objetivo general	13
3.2. Objetivos específicos	13
4. Fundamento Teórico	13
4.1. Robot Industrial	13

4.1.1.	Clasificación de los Robots Industriales	14
4.1.2.	Aplicaciones de los robots Industriales	15
4.1.3.	Arquitectura general de un robot Industrial	16
4.2.	Soldadura MIG	24
4.2.1.	Equipo básico para la soldadura MIG	25
4.2.2.	VARIABLES del proceso de soldadura MIG	29
4.2.3.	Descripción del proceso de Soldadura MIG	30
4.2.4.	Tipo de juntas en soldadura a usar	31
4.2.5.	¿ Porque usar MIG?	32
5.	Fundamento Metodológico	36
5.1.	Identificar las características necesarias que debe tener una herramienta de acople para que el ROBOT KUKA KR5 pueda realizar una soldadura MIG.	37
5.1.1.	Descripción del KUKA KR 5 arc HW	37
5.1.2.	Descripción de la Soldadora MIG 22A, 24A	44
5.1.3.	Características necesarias que debe tener una herramienta de acople para que el ROBOT KUKA KR5 pueda realizar una soldadura MIG .	49
5.2.	Diseñar la herramienta de acople según las necesidades identificadas	50
5.2.1.	Metodología para el diseño	50
5.2.2.	Identificación de la necesidad	52
5.2.3.	Investigación preliminar	53
5.2.4.	Ideación e invención	66
5.2.5.	Análisis y Selección	84
5.2.6.	Posición de la soldadora	95
5.2.7.	Parámetros a considerar para la soldadora	97
5.2.8.	Parámetros a considerar para el robot KUKA KR5	99
5.2.9.	Proceso de soldadura MIG de unión a tope con el robot KUKA KR5	101
5.2.10.	Entorno de simulación	102
5.2.11.	Cinemática directa del robot KUKA KR 5-2 HW	103
5.2.12.	Matriz diferencial jacobiana de velocidades	113
5.2.13.	Modelo de control	115
5.2.14.	Análisis y desarrollo de los modelos de control	123
5.2.15.	Trayectoria de soldadura simulada	138
5.2.16.	Desarrollo de interfaz de control	142

5.3.	Análisis de ventajas y desventajas del diseño propuesto con un modelo del mercado	143
5.3.1.	Power Joint	144
5.3.2.	Herramienta de acople diseñado para el proceso de soldadura MIG aplicada al robot	146
6.	Resultados	148
6.1.	Identificar las características necesarias que debe tener una herramienta de acople para que el ROBOT KUKA KR5 pueda realizar una soldadora MIG .	148
6.2.	Diseñar la herramienta de acople	149
6.3.	Proponer un proceso de soldadura de unión a tope con el robot KUKA KR5	149
6.4.	Analizar las ventajas y desventajas del diseño propuesto con un modelo del mercado	150
7.	Conclusiones	150
8.	Recomendaciones	151
	Referencias	152
9.	ANEXOS	154
9.1.	Anexo 1: Planos diseño final	154
9.2.	Anexo 2: Análisis Cinemático del Robot KUKA KR5	164
9.3.	Anexo 3: Análisis de la Matriz Jacobiana del Robot KR5 y el acople diseñado	165
9.4.	Anexo 4: Análisis de control mediante Lyapunov	166
9.5.	Anexo 5: Entorno de simulación del ROBOT KUKA KR5 y el acople diseñado.	169

Índice de figuras

1.	Acople de tres dedos para agarre.	3
2.	Cambiador automático de tres herramientas.	4
3.	Paquete de soldadura SKS. Diseño del sistema, imagen 1 de 2.	6
4.	Paquete de soldadura SKS. Diseño del sistema, imagen 1 de 2.	7
5.	Acople con sistema de antorcha.	8
6.	Modelo del robot KR 420 R3080.	9
7.	Robot KUKA KR 70 R2100	10
8.	Ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana	12
9.	Arquitectura de software en una interfaz.	19
10.	Manipulador KR 5-2 ARC.	19
11.	Volumen de trabajo del manipulador KR 6.	21
12.	Panel de control KUKA (KCP).	22
13.	Esquema general del subsistema de control.	23
14.	Eje lineal externo KL 250 del kuka	24
15.	Componente de antorcha en el proceso GMAW.	25
16.	Equipo de soldadura por arco metálico con gas protector.	26
17.	Maquina de soldadura MIG.	26
18.	Antorcha que ofrece el mercado.	28
19.	Diseños básicos de uniones o juntas.	31
20.	(a) soldadura a tope cuadrada, un lado; (b) soldadura de bisel único; (c) soldadura a tope en V único; (d) soldadura a tope en U único; (e) soldadura con a tope único; (f) soldadura a tope en V doble para secciones más gruesas. . .	32
21.	Comparación entre MIG con el ARCO ELÉCTRICO.	33
22.	Comparación entre MIG con el laser.	34
23.	Comparación entre MIG con la autógena.	34
24.	Principales gases y mezclas de gases utilizados en la soldadura MIG y MAG.	36
25.	Brazo robot KUKA KR5-2 ARC HW	38
26.	Montajes principales del robot KUKA KR5.	39
27.	Volumen de trabajo Brazo robot antropomórfico KUKA KR 5-2 ARC HW.	41
28.	Longitudes del KUKA.	43
29.	Distancia medidas del kuka y la mesa.	43
30.	Partes principales	44
31.	Velocidad de alimentación del alambre.	47

32.	Distancia medidas	48
33.	Caso de estudio del robot KUKA KR5.	51
34.	Metodología del diseño	52
35.	Robótica en el manejo de materiales.	52
36.	Sentido de giro de las articulaciones Robot KUKA KR5	55
37.	Distancia entre la base y el eslabón 1	56
38.	Distancias entre la articulación dos y tres	57
39.	Distancias entre la articulación tres y cuatro	58
40.	Distancias entre la articulación tres y cinco	59
41.	Distancias entre la articulación cinco y la articulación seis	60
42.	Diseño 1	67
43.	Parámetros para el diseño 1	68
44.	Características para el diseño 1	69
45.	Diseño 2	70
46.	Parámetros para el diseño 2	71
47.	Características para el diseño 2	72
48.	Diseño 3	73
49.	Parámetros para el diseño 3	74
50.	Características para el diseño 3	75
51.	Diseño 4	76
52.	Parámetros para el diseño 4	77
53.	Características para el diseño 4	78
54.	Diseño 5	79
55.	Parámetros para el diseño 5	80
56.	Características para el diseño 5	81
57.	Diseño 6	82
58.	Parámetros para el diseño 6	83
59.	Características para el diseño 6	84
60.	Matriz de decisión de Pugh.	86
61.	Diseño 6 explosionado	88
62.	Conjunto completo del acople para el proceso de soldadura MIG	89
63.	Ensamble diseño 7 aplicando DFMA	90
64.	Base del acople de soldadora	92
65.	Simulación Base del acople de soldadora Tensión Von Mises	94
66.	Simulación Base del acople de soldadora Desplazamiento	94

67.	Soldadora MIG 22A 24A.	96
68.	Robot KUKA KR5 arc HW.	97
69.	Vista frontal armario de control	99
70.	Vista frontal armario de control KUKA KR5	100
71.	Parte delantera del VKCP.	101
72.	Distancia de eslabones	105
73.	Robot KUKA KR5, variables articulares igual a cero	111
74.	Diagrama de bloques de control simulink	112
75.	Implementación SIMULINK cuando todas las variables articulares son cero	113
76.	Matriz jacobiana analítica	114
77.	Teorema LYAPUNOV de estabilidad	116
78.	Fases para el desarrollo del control	117
79.	Posición inicial para el desarrollo del control	118
80.	Modelo de control y ecuación de movimiento	119
81.	Consideraciones según la trayectoria	120
82.	Análisis de estabilidad de la función candidata para el control de posición	122
83.	Diagrama de control	123
84.	Ingreso del algoritmo de control de posición en Matlab	125
85.	Posicionamiento del Robot KUKA KR5 en un punto deseado	126
86.	Velocidades angulares de las articulaciones	127
87.	Errores del modelo de control respecto a sus ejes cartesianos	127
88.	Ingreso del algoritmo de control de posición en Matlab	130
89.	Trayectoria del Robot KUKA KR5	131
90.	Velocidades angulares de las articulaciones	132
91.	Errores del modelo de control respecto a sus ejes cartesianos	133
92.	Ingreso de algoritmo de control por camino en Matlab	135
93.	Trayectoria del robot KUKA KR5	136
94.	Velocidades angulares de las articulaciones	137
95.	Errores del modelo de control respecto a sus ejes cartesianos	138
96.	Trayectoria de soldadura simulada	139
97.	Velocidades articulares en la trayectoria del proceso de soldadura MIG	140
98.	Errores respecto los ejes cartesianos de la simulación	141
99.	Interfaz para el control del robot KUKA KR5	142
100.	Interfaz de control, desarrollo de una trayectoria de soldadura	143
101.	Sistema de antorcha Power Joint	144

102. Control de soldadura por pantalla táctil.	145
103. Herramienta de acople para el proceso de soldadura MIG	146
104. Material digital del entorno de simulación del ROBOT KUKA KR5 y el acople diseñado	169

Índice de tablas

1.	Tabla comparativa de los procesos de soldadura que puede utilizar para cada tipo de metal.	35
2.	Descripción y funcionamiento de los ejes en un brazo robótico antropomórfico KUKA KR5.	38
3.	Especificaciones mecánicas del Brazo antropomórfico KUKA KR 5-2 ARC HW.	42
4.	Especificaciones de la soldadora 22A, 24A.	46
5.	Especificaciones de la soldadora 22A, 24A.	46
6.	Especificaciones del alambre de la soldadora 22A, 24A.	48
7.	Tipos de propiedades de materiales.	61
8.	Tipos de materiales.	62
9.	Sistema unificado de numeración (UNS)	64
10.	Aleaciones de aluminio comunes y sus aplicaciones	65
11.	Propiedades del material	93
12.	Medidas entre los ejes articulares, acople y herramienta.	106
13.	Ventajas y desventajas del modelo disponible en el mercado.	145
14.	Ventajas y desventajas del modelo propuesto.	147

1. Introducción

En la actualidad es común encontrar en las industrias brazos robóticos capaces de realizar uno o varios procesos automáticos, a gran velocidad y con eficiencia, en muchas aplicaciones el robot ha de realizar operaciones que no consisten en manipular objetos, sino que implica el uso de un acople. En general, este acople debe ser construido o adaptada de manera específica para el robot (Barrientos y col., 2007). Las industrias optan para adaptar sus brazos robóticos con acoples que ayuden a realizar un proceso diferente al que fue diseñado (Criollo sánchez, 2019). Estos acoples son los encargados de interactuar directamente con el entorno del robot, pueden ser elementos de aprehensión como herramientas (Barrientos y col., 2007).

Normalmente, la herramienta o acople esta fijada rígidamente al extremo del robot aunque en ocasiones se dota a este un dispositivo que, mediante cierto grado de flexibilidad, permite la modificación de su posición ante la presencia de esfuerzos exteriores, facilitando así tareas de contacto como el ensamblado o el desbaste de material. Estos acoples aunque suelen ser pequeños en comparación con los otros componentes de la maquina, desempeñan un papel muy importante en la confiabilidad del equipo. En el caso de que estos acoples sean seleccionados, instalados y dándole el mantenimiento correspondido, pueden prolongar significativamente la vida útil (Barrientos y col., 2007).

La importancia de los acoples consiste como elemento de aprehensión o herramienta en los brazos robóticos dentro de la industria, ya que los robots cumplen funciones que requieren alta precisión. Los avances de los acoples varían dependiendo a su aplicación dentro de la industria, ya sean herramientas robóticas capaces de simular el comportamiento de una mano humana, incluso acoples encargados de unir dos maquinas para realizar un proceso a menor tiempo y mayor seguridad. Este es el caso de los acoples de soldadura para los brazos robóticos KUKA, en el mercado existen múltiples acoples que ayudan a dar solución a esta área, muchos de ellos ofrecen paquetes de soldadura para el modelo del brazo robótico KUKA pero el máximo inconveniente que se obtiene por un lado, es el tiempo de entrega del acople, instalación, capacitación, mantenimiento y en algunas industrias el costo (Criollo sánchez, 2019).

En el Ecuador es difícil encontrar importadores de acoples para brazos robóticos mucho menos fabricantes de bajo costo y compatible con el modelo del brazo robótico es por esta

razón que se desarrolla de acoples que puedan satisfacer esta necesidad con un tiempo de fabricación y costo reducidos (Criollo sánchez, 2019).

2. Problema

En el capítulo dos se presentará los antecedentes de acoples existentes en el ámbito académico como del mercado, descripción del problema, importancia, alcances y las delimitaciones tanto la espacial, temporal y la sectorial del trabajo de titulación.

2.1. Antecedentes del problema

Lo característico de los robots industriales es su estructura en forma de brazo mecánico y su adaptabilidad en múltiples aplicaciones. El trabajo de titulación se enfoca en el diseño y análisis matemático de un acople para el robot KUKA KR5 de la Universidad Politécnica Salesiana con la soldadora MIG de la Universidad Politécnica Salesiana, para abordar la solución de este problema, es necesario conocer antecedentes de acoples existentes en lo académico y comercial. Este robot que se encuentra ubicado en los laboratorios de robótica y la soldadora en el laboratorio de soldar ambos de la Universidad Politécnica Salesiana.

A continuación resumimos los acoples existentes a los brazos articulados KUKA:

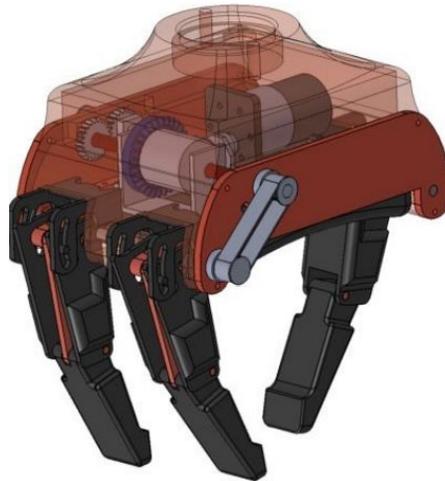
2.1.1. Herramienta robótica de tres dedos para ambientes y aplicaciones industriales

Andrés Criollo de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) autor del documento, desarrolló una herramienta robótica, aplicando la técnica de Modelado por Disposición Fundida. El autor usó el material ABS, por sus propiedades mecánicas para trabajos que requieren esfuerzos mecánicos exigentes. El sistema mecánico de la herramienta consta de engranajes cónicos de aluminio. Se diseñó y fabricó un acople ubicado en el plato máster del robot, esta pieza cumple con la condición de permitir entrar a las esferas del sistema de bloqueo del robot KUKA KR5.

Compuesto por 18 piezas, todas las piezas fueron impresas en ABS. El motor y las placas electrónicas fueron sujetos en la palma mediante pernos. El diseño del mecanismo es la

parte mas importante de la herramienta ya que el autor del documento considero algunos parámetros, como el tamaño y peso máximo de los objetos que va a sujetar. Al momento de fabricar las piezas en ABS el autor recomienda tener un entorno totalmente cerrado, pues las corrientes de aire afectan a la estructura de la pieza (Criollo sánchez, 2019). En la Figura 1, se visualiza el ensamblaje final del acople de tres dedos con el motor y los engranajes internos necesarios para su funcionamiento con el robot antropomórfico.

Figura 1: Acople de tres dedos para agarre.



Fuente: Criollo sánchez, 2019

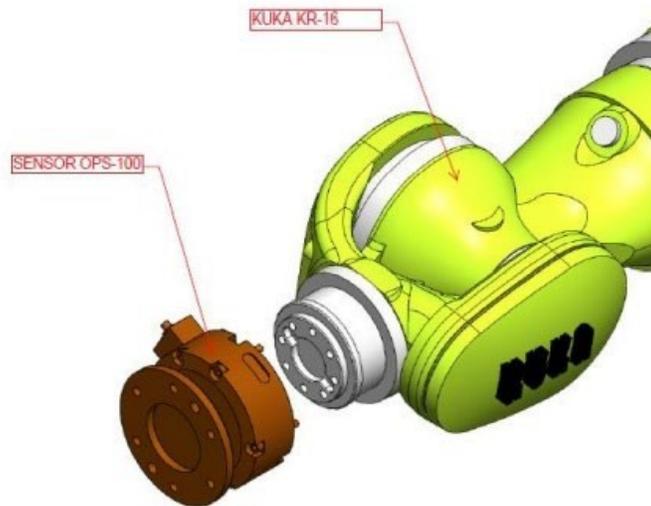
2.1.2. Cambiador automático para tres herramientas del brazo robótico KUKA KR16

Los autores Juan Gonzales y Orlando Morales de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), realizaron el diseño y construcción de un plato máster para la brida de la muñeca del brazo robótico y tres tolos para la pinza, el material que se uso fue aluminio 6061-T6 como software de modelación 3D, simulación de esfuerzos SolidWorks 2014. Se realizó pruebas de repetitividad, pruebas de tiempo de cambio con la implementación del sistema. El cambiador automático de herramientas fue implementado exitosa mente en el laboratorio de las Universidad de las Fuerzas Armadas Extensión Latacunga.

Recomiendan utilizar el software de modelación y simulación SolidWorks 2014, ya que contiene elementos para un análisis completo desde el diseño hasta la simulación real para

así obtener los parámetros necesarios para saber si el diseño es idóneo o no. Para el montaje utilizaron instrumentos de medición como el calibrador pie de rey, flexo-metro y de nivelación, el nivel de burbuja y para la parte eléctrica multímetro digital. Para obtener una mejor repetibilidad en el cambiador recomiendan usar un material de menor peso, como es el duralón (González Vallejo, 2015). Empleado en la Figura 2, se muestra la posición en la que se instala el acople al brazo robótico KUKA.

Figura 2: Cambiador automático de tres herramientas.



Fuente: González Vallejo, 2015

Acoples que ofrece la Industria KUKA:

2.1.3. Acople con sistema de antorcha con giro automático

La casa fabricante KUKA manufactura acoples para todo modelo de sus brazos antropomórficos para así poder ampliar su campo de trabajo, este es el caso del power Joint para todos los robots industrial con cable energético interno, posee una sola articulación con libertad ilimitada de rotación transmite la energía eléctrica y el gas, aire e hilo. La falta de re-orientaciones también ahorra tiempo debido a que la antorcha llega a todas las posiciones por el camino más corto posible. SKS Welding Systems ofrece folletos de información sobre todos sus productos, incluyendo el paquete modular de soldadura con sistema de antorcha Power Joint, detallando los componentes principales, instalación, consumibles y sus respectivas piezas de repuesto. Este equipo es utilizable para robots industriales mas conocidos como FANUC, ABB incluso el mismo KUKA.

Ofrece una regulación de la velocidad hasta diez veces mayor en comparación con la tecnología inverter convencional. Esto lleva a un excelente comportamiento, control y menores tiempos de respuesta. Las propiedades de soldadura se mejoran sustancialmente. El software reemplaza al hardware: el uso de menos componentes también aumentan la fiabilidad en funcionamiento continuo. Se adquiere todo el equipo de soldadura, mas no únicamente el acople unitario. (systems, 2016). Gracias a su fuente de potencia, ofrece una soldadura por arco optimo adaptable para cualquier proceso, sus aplicaciones van desde soldadura a piezas de chasis y de escape hasta aplicaciones de chapa fina. Su alimentador de hilo es resistente, fuerte, ligero y preciso mas eficiente que los alimentadores de hilo convencionales, compuesto por un sistema de engranajes especifico y el uso de tecnología de control proporcionan un excelente rendimiento y precision, la carcasa de plástico aísla la electricidad evitando así fallas por corto circuito o sobrecalentamiento del mismo.

(Véase las Figura 3 y 4, la casa fabricante mediante imagenes muestra los componentes principales de la instalación del paquete de soldadura SKS.)

Figura 3: Paquete de soldadura SKS. Diseño del sistema, imagen 1 de 2.



Fuente: systems, 2016

Figura 4: Paquete de soldadura SKS. Diseño del sistema, imagen 1 de 2.



Fuente: systems, 2016

En la Figura 5, se detalla la forma de instalación del acople en la brida del robot articulado, por su facilidad de instalación al ser una sola articulación y con libertad ilimitada, este acople permite la soldadura en cualquier posición.

Figura 5: Acople con sistema de antorcha.



Fuente: systems, 2016

2.1.4. Brida de acople para el modelo KR420 R3080 F

La casa fabricante KUKA desarrollo una brida conectada al acople, la brida acople del modelo KR 420 R3080 F, diseñado para una carga nominal de 420 kg para aprovechar de forma óptima el rendimiento y la dinámica del robot. También se pueden aplicar cargas superiores hasta la capacidad de carga máxima. KUKA ofrece múltiples soluciones para las industrias en diferentes áreas, con manuales y datos técnicos detallados para el correcto uso de la maquinaria y su campo de trabajo. Es necesario leer el manual antes de su uso y aplicar las medidas de protección necesarias para evitar posibles accidentes. La industria robótica KUKA tiene disponible numerosas variantes para un gran numero de aplicaciones en el campo de cargas pesadas, este modelo es ideal para la industria de la fundición, por su precision absoluta (Kuka, 2020b).

En la Figura 6a se muestra el modelo del robot KUKA con el acople previamente instaladas, las bridas son construidas principalmente por el modelo del KUKA y el tipo de aplicación al que va a realizar. Para adaptar un brazo con una brida seria necesario modificar el extremo donde va la brida tal y como se muestra en la Figura 6b.

Figura 6: Modelo del robot KR 420 R3080.

(a) Robot KUKA con brida de acople del modelo KR 420 R3080 F instalado.



Fuente: Kuka, 2020b

(b) Brida de acople del modelo KR 420 R3080 F.



Fuente: Kuka, 2020b

2.1.5. Brida de acople para el modelo KR 70 R2100

La casa fabricante KUKA desarrollo para este modelo, el acople brida construido para el modelo KR 70 R2100 esta configurado para una carga nominal de 70 kg para aprovechar de forma óptima el rendimiento y la dinámica del robot. Con intervalos de carga reducidos también se pueden aplicar cargas superiores hasta la capacidad de carga máxima. La situación de carga concreta debe controlarse con KUKA.Load. Por su desmontaje fácil y sin operaciones destructivas, las bridas son una gran ayuda ya que se une con pernos y no es permanente en los KUKAS, permitiendo cambiar de herramienta del KUKA cuando este sea requerido (Kuka, 2020a).

En comparación con la brida del modelo KR420 R3080 F, este es menos resistente en peso, pero en cambio ofrece mayor movimiento, ya que su campo de trabajo aumento por las dimensiones del robot. Se puede apreciar en la Figura 7a el Robot KUKA con el acople ya instalado y en la Figura 7b la vista mas de cerca del acople. Cabe recordar que este acople es único para este modelo de Robot, fue diseñado y construido para las aplicaciones de peso y fuerza, mencionado anteriormente

Figura 7: Robot KUKA KR 70 R2100

(a) Robot KUKA con brida de acople del modelo KR 70 R2100 instalado.



Fuente: Kuka, 2020a

(b) Brida de acople del modelo KR 70 R2100.



Fuente: Kuka, 2020a

2.2. Descripción del problema

En la actualidad nos encontramos en la era que se denomina Industria 4.0 o cuarta revolución Industrial. Cada una de las revoluciones previas han sido caracterizadas por la introducción o uso de alguna técnica o material que ayudo a lograr avances que han contribuido hasta el día de hoy. Lo que mas caracteriza a la industria 4.0 es el uso y desarrollo de robots industriales (Antoni Garrel, 2019).

Como el avance de la tecnología nunca se detiene el área industrial tampoco lo hace, los procesos se encuentran en constantes cambios para mejorar su tiempo de trabajo o precision. Un brazo robótico conocido también como robot articulado de seis ejes, tiene un amplio uso en las industrias, un ejemplo seria la sujeción de elementos de escritura; corte por chorro de agua, entre otros. También se puede clasificar según el área en que se va a enfocar el robot, ya sea en el área textil, el área de plásticos, en el área metal-mecánico y mas (Antoni Garrel, 2019), estos robots se ven limitados por su diseño, tomando en cuenta que la adquisición

del brazo robótico se realiza de forma separada y se adquiere dependiendo a su aplicación. Las industrias optan para adaptar sus brazos robóticos con acoples que ayuden a realizar un proceso diferente al que fue diseñado para disminuir gastos y aumentar la producción. (Criollo sánchez, 2019).

Los acoples se han desarrollado dependiendo de la aplicación que se requiera, en el área de soldadura existen pocos estudios realizados para el desarrollo de acople, tampoco se encuentra fabricantes de acoples de bajo costos y compatibles con un brazo robótico. El presente trabajo es el diseño de una herramienta de acople mas adelante mencionamos como herramienta robótica o herramienta, para el proceso de soldadura MIG aplicada al robot KUKA KR5 arc HW mas adelante mencionamos como robot KUKA KR5. Otro problema encontrado ha sido la falta de fabricación de repuestos en caso de avería y el precio elevado, en el Laboratorio de Robótica de la Universidad Politécnica Salesiana no se cuenta con un acople que permita unir el proceso del brazo robótico KUKA KR5 con la soldadora MIG.

2.3. Importancia y alcance

La evolución de la robótica y la automatización a sido un gran aporte en las industrias beneficiando en el aumento de productividad y demanda del mercado. Al aumentar la demanda del mercado, es necesario tener un proceso automático eficiente que mantenga una excelente calidad. Para evitar grandes costos, las industrias optan por acondicionar sus maquinas para automatizar el proceso. Para esto, es necesarios pequeños mecanismos capaces de darle mayor movilidad o que permita combinar múltiples procesos para un producto final. También llamado acoples, dan soluciones a múltiples procesos, tales como soldadura, robots articulados, compresores, entre otros.

Se pretende dar solución al unir un proceso de soldadura MIG para la unión de perfiles metálicos que se hace manualmente, lo que conlleva a la falta de precision en la unión de perfiles y mayor tiempo empleado, también depende en gran medida la experiencia del operador para disminuir posibles fallas en la soldadura y prevenir posibles lesiones. La importancia de tener un acople para poder aplicar un proceso de soldadura asegurando mejor calidad, funcionamiento constante, precision en la trayectoria y repetitividad.

El alcance del documento es la interfaz de control de un proceso de soldadura MIG aplicando el acople en el robot KUKA KR5, mediante simulaciones en el software Matlab y encontrando las ecuaciones de velocidades de cada eslabon del robot. Demostrando los movimientos necesarios para el proceso de soldadura para una unión a tope de dos placas metálicas.

2.4. Delimitación

- a.- Delimitación Espacial: El proyecto va a tener lugar en la Universidad Politécnica Salesiana que se encuentra ubicada Provincia del Azuay cantón Cuenca en la Calle Vieja 12-30 y Elia Liut. Específicamente se refiere al diseño de una herramienta de acople para el proceso de soldadura MIG aplicada al robot KUKA KR5 presente en el Laboratorio de robótica.

Figura 8: Ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana



Fuente: Google Maps

- b.- Delimitación Temporal: El periodo seleccionado para la investigación y desarrollo del proyecto es de un año.
- c.- Delimitación Sectorial e Institucional: La Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca es de carácter privada y se localiza en el barrio El Vecino, parroquia El Vecino.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

- Diseñar una herramienta de acople para el proceso de soldadura MIG aplicada al robot KUKA KR5.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar las características necesarias que debe tener una herramienta de acople para que el ROBOT KUKA KR5 pueda realizar una soldadora MIG.
- Diseñar la herramienta de acople según las necesidades identificadas.
- Proponer un proceso de soldadura de unión a tope con el robot KUKA KR5.
- Analizar las ventajas y desventajas del diseño propuesto con un modelo del mercado.

4. Fundamento Teórico

En el capítulo cuatro se cubrió la teoría necesaria para desarrollar el trabajo y cumplir con los objetivos específicos antes planteados, incluye la definición de un robot industrial su clasificación, aplicaciones de los robots industriales, se describe su arquitectura general desglosando en arquitectura de software y arquitectura de hardware, también se incluye la definición de la soldadura MIG describiendo el principio de la soldadora, el equipo básico, las variables necesaria en un proceso de soldadura MIG con su respectiva descripción del proceso, mas adelante mencionamos el tipo de junta (como junta o unión) a usar para la propuesta de soldadura y finalmente el porque la soldadora MIG, ventajas desventajas y realizamos una tabla de comparativa de los proceso de soldadura que se puede usa para cada tipo de material, la soldadora MIG puede realizar mezcla de gases para su aplicación en distintos materiales.

4.1. Robot Industrial

Según la RIA (Robot Industry Association) un robot industrial es un manipulador multifuncional re programable capaz de mover cargas, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias varias:programado para realizar trabajos diversos (Chavez Pazmiño,

2016). Los robots industriales, hacen referencia a un manipulador multifuncional que se puede programar, caracterizado por tener desde 3 hasta 7 ejes y en función del modelo y del tipo aplicación a la que va a ser destinado varia su constitución (de Robots, 2021).

Fabricantes de todo el mundo están llevando a cabo la automatización de los robots antropomórficos para sus aplicaciones industriales con la finalidad de ser mas eficientes, seguros e incrementar su productividad en espacios laborales en industria. Estos robots, pueden ser empleados para la realización de múltiples trabajos, desde empacar, paletizado de cajas y sacos, cortar laminas, transporte de materiales, soldadura, producción en serie, trabajo cooperativo entre robots.

Según Chavez Pazmiño, la clasificación del grado de complejidad del Robot se establece de la siguiente manera: (Chavez Pazmiño, 2016)

4.1.1. Clasificación de los Robots Industriales

Primera generación

Dispositivos que actúan como esclavo mecánico de un hombre, quien provee mediante su intervención directa el control de los órganos de movimiento. Esta transmisión tiene lugar mediante mecanismos actuados por las extremidades superiores del hombre, caso típico manipulación de materiales radiactivos, obtención de muestras submarinas, etc.

Segunda generación

El dispositivo actúa automáticamente sin intervención humana frente a posiciones fijas en las que el trabajo ha sido preparado y ubicado de modo adecuado ejecutando movimientos repetitivos en el tiempo, que obedecen a lógicas combinatorias, secuenciales, programadores paso a paso, neumáticos o Controladores Lógicos Programables. Un aspecto importante está constituido por la facilidad de rápida re-programación que convierte a estos Robots en unidades versátiles cuyo campo de aplicación no sólo se encuentra en la manipulación de materiales sino en todo los procesos de manufactura.

Tercera generación

Son dispositivos que habiendo sido construidos para alcanzar determinados objetivos serán capaces de elegir la mejor forma de hacerlo teniendo en cuenta el ambiente que los circunda.

Para obtener estos resultados es necesario que el robot posea algunas condiciones que posibiliten su interacción con el ambiente y los objetos. Las mínimas aptitudes requeridas son: capacidad de reconocer un elemento determinado en el espacio y la capacidad de adoptar propias trayectorias para conseguir el objetivo deseado.

4.1.2. Aplicaciones de los robots Industriales

En la actualidad, se ha avanzado mucho en el desarrollo de los robots, se dará mayor desarrollo al Industrial, pues el documento se basa en el. (Chavez Pazmiño, 2016)

Robots destinados al entretenimiento

Esta aplicación se encuentran los parques temáticos, como Disney Landia, ya que tienen desde pájaros cantores, elefantes, cocodrilos, hasta simuladores de vuelo, androides, submarinos, etc. Además, en la cinematografía se encuentran la gran mayoría de los robots humanóides más famosos como lo son: Terminator, R2D2 y C3PO, y Corto Circuito, entre otros. (Chavez Pazmiño, 2016)

Robots destinados a la asistencia y ayuda a discapacitados

Se desplazan de manera autónoma y que tienen capacidad para tomar ciertas decisiones y reaccionar ante situaciones imprevistas. Se desarrolló una silla de ruedas robotizada que puede desplazarse al recibir indicaciones por medio de la voz. Otro de los robots para este tipo de aplicaciones es el humanoide ASIMO de Honda. (Chavez Pazmiño, 2016)

Robots destinados a entornos peligrosos

En ciertos sectores de la industria armamentística y de auxilio utilizan máquinas capaces de ayudar incluso de salvar vidas sin poner en riesgo ninguna vida humana. Algunos ejemplos son: Robot Nuclear, robot de rescate, robot Anti bombas. (Chavez Pazmiño, 2016)

Robots domésticos

Los electrodomésticos, como hoy los conocemos, forman parte del mundo de la robótica, y aunque parezca increíble, éstos son robots domésticos. Los Robots aspiradoras son aparatos que se desplazan libremente de una habitación a otra, se recarga y vacía el contenedor de polvo cuando es necesario. (Chavez Pazmiño, 2016)

Robots destinados a la cooperación espacial

En la exploración espacial, se justifica el uso de robots, debido a que el medio ambiente es hostil para el ser humano, y este necesita un equipo de protección. Los primeros robots utilizados en este tipo de aplicación para los transbordadores espaciales son los llamados tele operadores. Otra clase de robots son los aerobots, utilizados para moverse sobre la superficie de un planeta a una altitud de unos kilómetros. Los aerobots más simples son los globos sin tripulación. (Chavez Pazmiño, 2016)

Robots especializados en la medicina y salud

Los robots tienen un gran número de aplicaciones en los laboratorios. Un típico sistema de preparación de muestras consiste de un robot y una estación de laboratorio, la cual contiene balanzas, dispensarios, centrifugados, racks de tubos de pruebas, etc. Ejemplos son: el electrocardiograma, la tele cirugía, consiste en la operación remota de un paciente mediante un tele manipulador. (Chavez Pazmiño, 2016)

Robots Industriales

En el sector industrial, existen varios ejemplos: Aplicación de transferencia de material, Carga y descarga de maquinas, operaciones de procesamiento, soldadura por puntos, recubrimiento con spray. Siendo estos la mayoría automáticos o semiautomáticos. (Chavez Pazmiño, 2016)

4.1.3. Arquitectura general de un robot Industrial

Un robot industrial contiene dos tipos de arquitecturas, tanto de software como el hardware. La arquitectura del hardware corresponde a eslabones, articulaciones y espacio de trabajo, siendo este constituido por subsistemas que interactúan entre sí para crear un sistema robótico funcional. en consecuencia es de gran importancia el conocimiento de la arquitectura del robot.

Arquitectura de Software

Un robot industrial como tal necesita un conjunto de reglas o normas que ayuden al buen funcionamiento y mantenimiento del equipo, siendo esto un sistema de algoritmos, un conjunto de programas que interactúan entre sí para lograr un objetivo en común, teniendo

la capacidad de interpretar y ejecutar la tarea por medio de un conjunto de instrucciones, produciendo los resultados deseados. (Patricio Javier, 2013)

Los programadores a cargo deberán analizar diferentes aspectos en el que va a trabajar el robot para desarrollar de mejor forma la estructura del programa. Algunos parámetros a tomar en cuenta para la programación son: (Patricio Javier, 2013)

1. **Entorno de programación:** Es el conjunto de programas que abarca todas las tareas necesarias para el desarrollo de un programa, algunas de las tareas a realizar son: la codificación, compilación, ejecución de pruebas, etc. En la actualidad existen sistemas de programación que soportan sistemas operativos multitarea, permitiendo el control simultaneo y sincronizado de tareas.
2. **Modelado del Entorno:** Es la representación que tiene el programa del robot de los cuerpos con los que trabaja. Establece relaciones entre los objetos, los cuales facilita la programación y se actualiza durante su ejecución. Mediante las estructuras, cor-relaciona con los objetos del sistema en general.

Algunas características propias del modelado del entorno pueden ser: la orientación, formas, pesos, etc. Para definir la posición y orientación de los objetos del modelo, se usa frecuentemente la asignación de un sistema base o referencial a cada objeto, de manera que la posición y orientación de este sistema es denominado sistema del mundo, el mismo que define de manera única a las del objeto.

3. **Tipo de datos:** Es necesario conocer un mínimo de valores o datos iniciales para poder controlar o manipular el resultado. En un sistema de programación, se cuenta con valores enteros, reales, numéricos, booleanos, cadena de caracteres, etc, permitiendo definir funciones del robot con su entorno o de manera especifica una trayectoria. Para el posicionamiento, se tiene distintos tipos de coordenadas: articulas o cartesianas, estos indican los valores de posición que cada articulación debe tener para llegar a un punto especifico.
4. **Manejo de Entradas/Salidas (digital y análoga:)** Los métodos de comunicación como: entradas y salidas, tanto análogas como digitales, sistemas Ethernet y buses

de campo, permiten la integración y sincronizan de los procesos industriales. Los datos obtenidos por los puertos, serán utilizados dentro del programa principal para controlar el funcionamiento del sistema. Esto permite el uso de sistemas de control y supervisión automática a distancia *SCADA*, creando una retro-alimentación, facilitando el estado de los procesos industriales y del sistema.

5. **Control del Movimiento del Robot.** Es necesario un conjunto de requisitos para llevar a cabo un movimiento o serie de movimientos específicos. Los puntos como destino e inicio, el tipo de trayectoria que se realizara, la velocidad media que llevara el recorrido o incluso la precision del mismo. Estos puntos son el circular y lineal, pueden ser combinados, permitiendo la creación de una serie de distintas trayectorias, dentro del control de movimientos también existen las interrupciones provocadas por dos métodos, que permiten la funcionalidad del sistema.
6. **Control de flujo de ejecución del programa** La forma de ejecución de un programa puede ser paralela o en secuencia, se le denomina control de flujo de ejecución. Las estructuras como los bucles: for, while, repeat, if, etc. son utilizadas para llevar a cabo este control. Ayuda al trabajo conjunto de robots en un proceso industrial y permite la operación de varios manipuladores operados desde un único programa dentro de una celda de trabajo.

Otros tipos de sentencias de control son las interrupciones, estas interrupciones permiten realizar operaciones en función de la prioridad que tenga la interrupción. En la Figura 9, se muestra el resultado de todos los parámetros que conlleva la arquitectura de software, llegándose a construir una interfaz amigable con el usuario.

Figura 9: Arquitectura de software en una interfaz.



Fuente: KUKA, 2022

Arquitectura de Hardware

La arquitectura de hardware representa la estructura física del sistema robótico, constituido por cuatro subsistemas: Sub-sistema mecánico, sub-sistema de programación, sub-sistema de control y sub-sistema externo. En la Figura 10, se muestra al robot antropomórfico KUKA KR5.

Figura 10: Manipulador KR 5-2 ARC.



Fuente: Laboratorio Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca

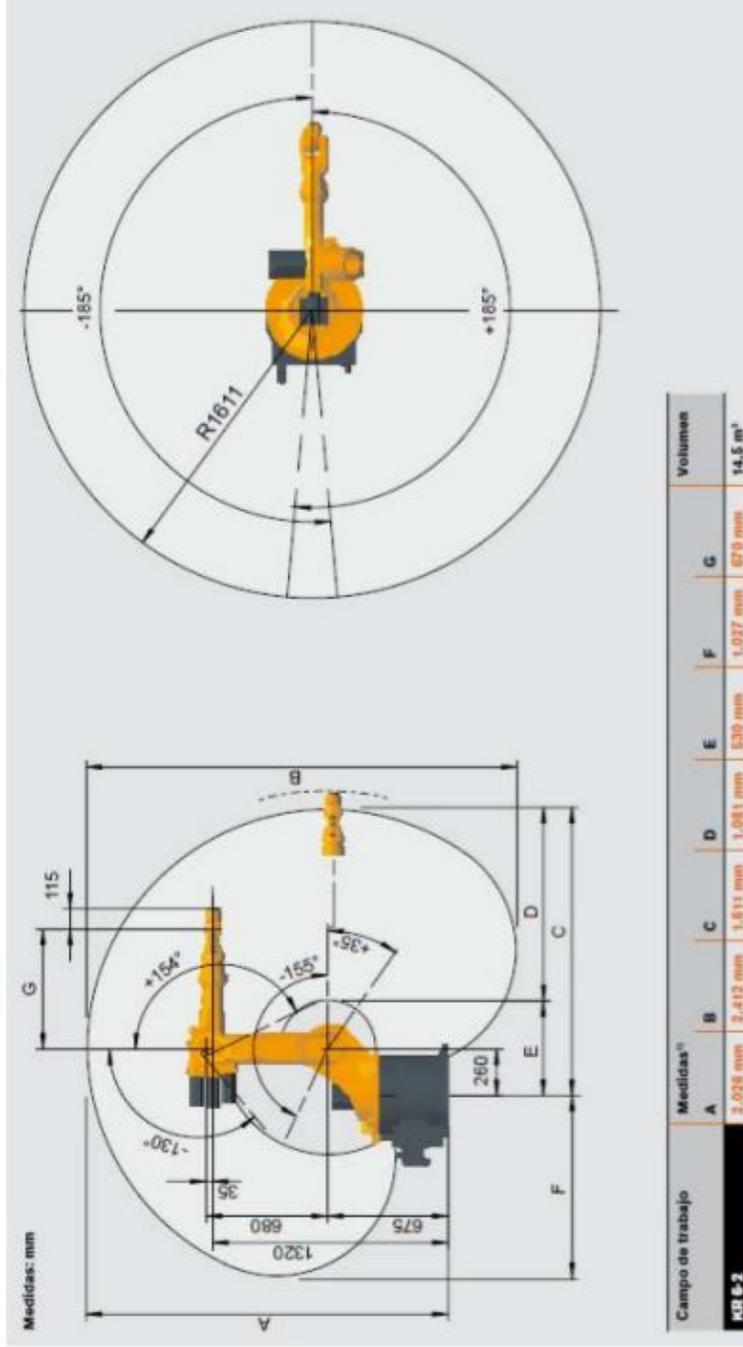
Los grados de libertad del robot KUKA están distribuidos de forma que el robot solvente el posicionamiento espacial en cualquier punto de su área de trabajo. Otro de los parámetros de consideración en la estructura mecánica sobre robots industriales, es la utilización de transmisiones y reductores dentro de si, estos dispositivos permiten el correcto movimiento del robot facilitando en muchas ocasiones el posicionamiento de los actuadores. (Escandon Cueva, 2013)

Subsistema mecánico

Compuesto por un sub-sistema mecánico, contiene una brazo robot manipulador antropomórfico de 6 ejes, con una capacidad de carga, alcance y una repetitividad predefinida por el fabricante. Dentro del subsistema mecánico se encuentra los topes mecánicos o por software (Patricio Javier, 2013).

En la Figura 11 se muestra el área de trabajo o también conocido como volumen de trabajo del robot articulado.

Figura 11: Volumen de trabajo del manipulador KR 6.



Fuente: Escandon Cueva, 2013

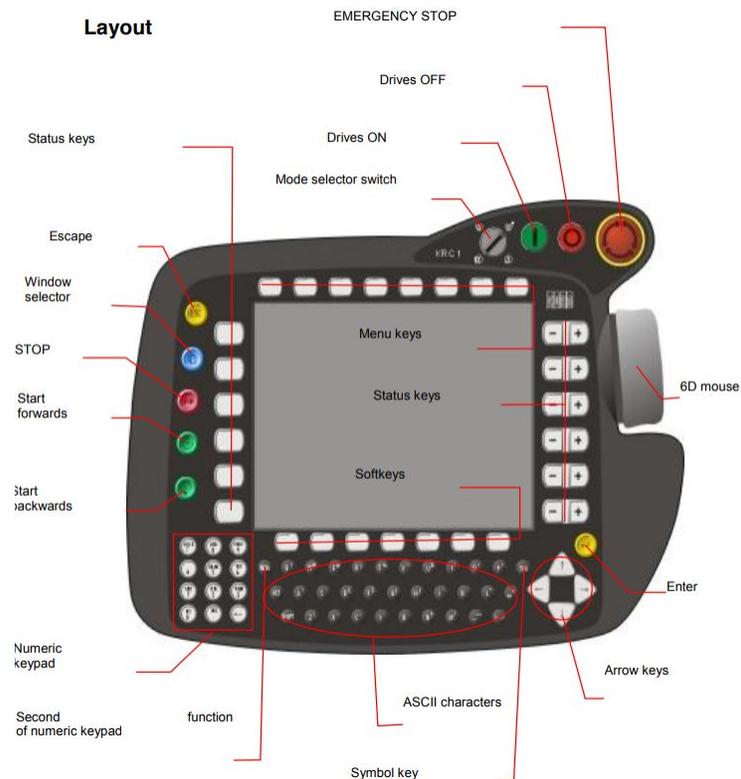
Los topes mecánicos limitan físicamente el área de desplazamiento de cada uno de los ejes para evitar colisiones entre eslabones o daños a las conexiones, los topes son fijados por el fabricante y no se pueden modificar. Los toques por software son configurables por el usuario y permiten definir el volumen de trabajo del robot, mediante el ingreso de valores angulares que limitan el desplazamiento de cada eje (Patricio Javier, 2013).

Subsistema de programación

Lo integra la unidad manual de programación (UMP) y el lenguaje de programación. Es un lenguaje propio de cada empresa, como el KUKA Roboter GmbH para el manejo y programación de los sistemas robóticos. Esta unidad es imprescindible, pues es donde se agrega las líneas de mando que recibirá la unidad de control para luego transmitir las al subsistema mecánico. La UMP es un dispositivo que permite la comunicación entre el usuario y el sistema robótico. Contiene todas las funciones necesarias para el desplazamiento manual y programación de movimientos. Esta es constituido por varios teclados, botones de accionamiento, una pantalla gráfica que permite la presentación de diferentes tipos de mensajes e ingreso de comando y un ratón con seis grados de libertad (Space Mouse) (Patricio Javier, 2013).

En la Figura 12 se presenta un ejemplo de UMP, denominado KUKA Control Panel (KCP) de los fabricantes KUKA.

Figura 12: Panel de control KUKA (KCP).

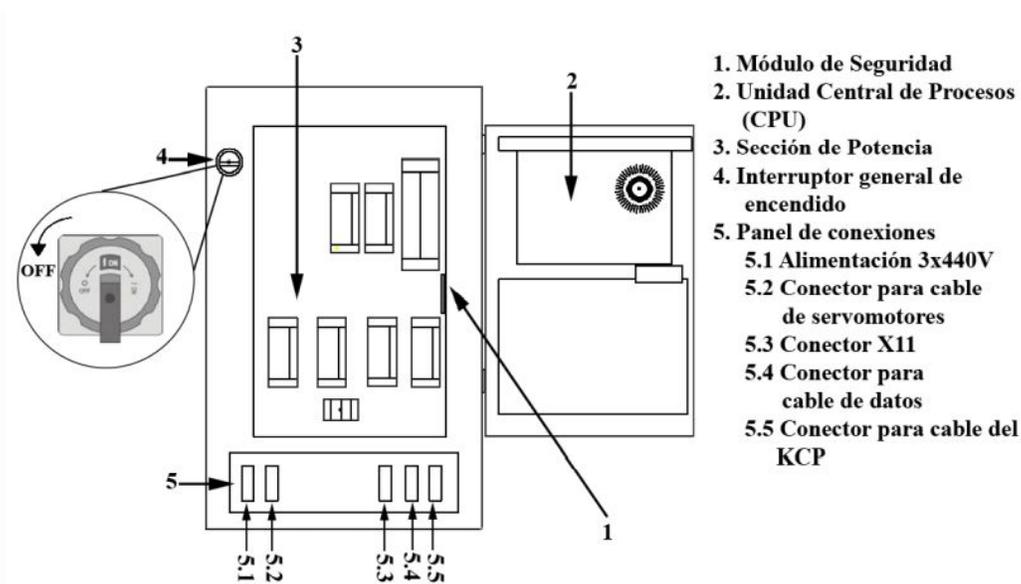


Fuente: KUKA, 2010

Subsistema de control

También denominado unidad de control del robot, es el responsable del control general del sistema robótico y está integrado por el sistema de potencia, la unidad central de procesos, el modulo de seguridad y el panel de conexiones. Es la unidad responsable de controlar las funciones del sistema robótico. En el armario de control convergen las instalaciones de alimentación, los sistemas de seguridad y los controladores de movimientos del robot, está constituido por la unidad central de procesos, la sección de potencia, el módulo de seguridad y el panel de conexiones (Patricio Javier, 2013). (Véase la Figura 13 describe las partes del esquema general de control).

Figura 13: Esquema general del subsistema de control.



Fuente: Patricio Javier, 2013

Subsistema externo

Compuesto por ejes externos a los existentes en el subsistema mecánico y por herramientas capaces de ser montadas en la brida de sujeción del brazo robótico. Los ejes externos permiten el desplazamiento del brazo robot mediante ejes lineales o posicionar piezas para un mecanizado óptimo utilizando posicionadores de giro. Por su parte, las herramientas externas permiten la elaboración de diferentes tareas como: soldadura de arco, soldadura de punto, fresado, corte, paletizado, entre otros (Patricio Javier, 2013). (véase Figura 14)

Figura 14: Eje lineal externo KL 250 del kuka



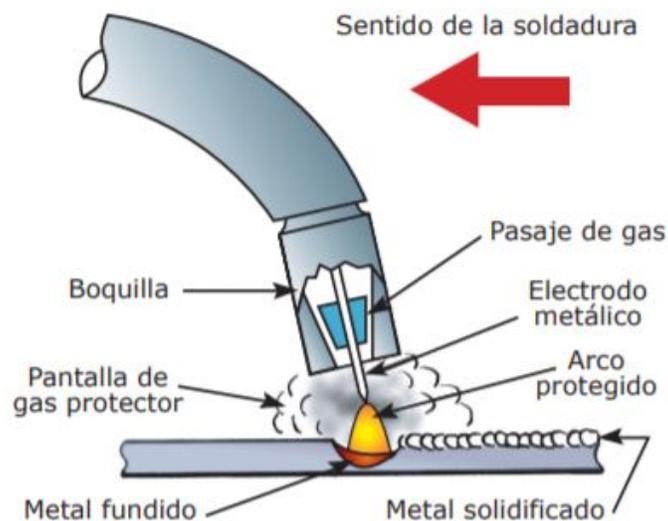
Fuente: Patricio Javier, 2013

4.2. Soldadura MIG

La soldadura MIG, es un proceso automático o semiautomático, que utiliza un electrodo consumible y continuo que es alimentado a la pistola junto con el gas inerte, el cual crea una atmósfera protectora. Este proceso se utiliza en las industrias donde el tiempo y la calidad de soldadura son características principales (Jeffus y Rowe, 2008). El principio de la soldadura MIG es similar a la soldadura por arco eléctrico, con la diferencia en el electrodo continuo y la protección del gas inerte lo que le dan a este método la capacidad de producir cordones mas limpios, no forma escoria, por lo que se pueden formar varias capas sin necesidad de limpieza. Mig (por sus siglas Metal Inert Gas) utiliza un gas inerte para crear la atmósfera protectora, puede ser argón, helio o una mezcla de ambos (Jeffus y Rowe, 2008).

En la figura 15 se muestra la configuración de una antorcha utilizada en el proceso GMAW al momento de aparición del arco eléctrico, donde se detalla la localización de conductos por donde sale el gas protector, alambre de alimentación, metal base, antorcha y arco.

Figura 15: Componente de antorcha en el proceso GMAW.



Fuente: Rodriguez, 2013

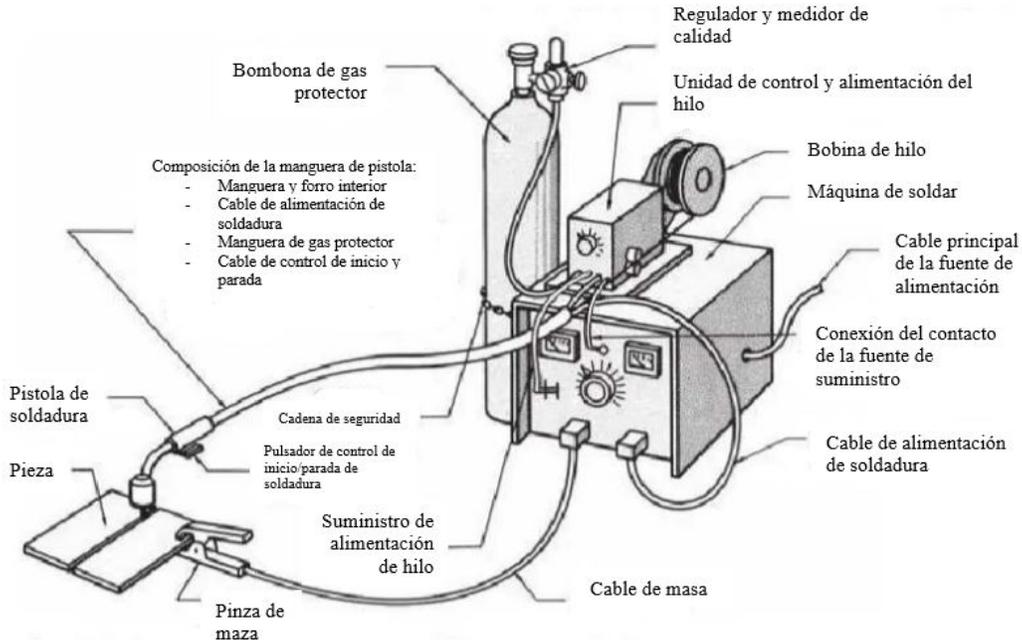
4.2.1. Equipo básico para la soldadura MIG

El equipo de la soldadura GMAW se compone de los siguientes elementos principales (Paucar, 2013) :

1. Una pistola (antorcha)
2. Una unidad de alimentación de hilo (alambre)
3. Un suministrador de hilo
4. Una fuente de alimentación
5. Un suministrador de gas protector con regulador/medidor de caudal
6. Un circuito de control y las mangueras
7. Forros interiores y cables asociados

La Figura 16 describe todas las partes del equipo de soldadura necesarias para realizar un proceso de soldadura MIG.

Figura 16: Equipo de soldadura por arco metálico con gas protector.

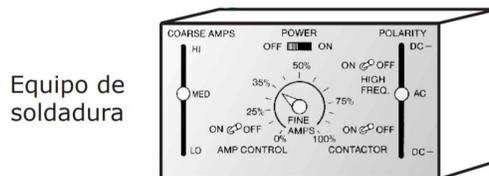


Fuente: Paucar, 2013

Maquina para soldar

Un motor eléctrico aporta el hilo hacia el interior del arco y la fuente de energía mantiene la longitud del arco en un valor predeterminado. Esto permite que el soldador se concentre en asegurar una fusión total de la junta (Paucar, 2013). En la Figura 17, se muestra la soldadora MIG.

Figura 17: Maquina de soldadura MIG.



Fuente: Rodriguez, 2013

Alimentador de alambre

La alimentación en la soldadura MIG puede realizarse de dos maneras: halando o empujando el alambre. En ambos sistemas se tiene un regulador de salida de alambre que automáticamente regula el amperaje. Al aumentar la salida de alambre al área de soldadura, simultáneamente se aumenta la intensidad de corriente de salida, el mecanismo alimentador debe impulsar automáticamente el alambre electrodo desde la bobina al conjunto de cable y pistola, conduciéndolo hacia el arco (Paucar, 2013) . Los alimentadores de alambre utilizan diferentes tipos de rodillos impulsadores que se pueden instalar fácilmente, esto permite la utilización de diferentes clases y diámetros de alambre.

Pistola o soplete para soldadura

Existen muchos tipos y marcas de pistolas para soldadura MIG, pero todas caben dentro de los sistemas de arrastre (o tracción) y de empuje. Existen pistolas refrigeradas por aire o agua y su función es la de conducir el alambre de alimentación hacia el arco a través de una boquilla guía en la que el alambre toma también la corriente. El contacto entre la boquilla y el alambre debe ser bueno, pues los voltajes son muy bajos para superar una resistencia de contacto demasiado elevada (Paucar, 2013). La boquilla para la salida de gas, sobre el extremo de la pistola es metálica, todas las pistolas están provistas de un control que al accionarlo permite el paso simultaneo de gas protector, corriente, alambre y agua (cuando son refrigeradas con agua), al soltar el control que generalmente es en forma de gatillo, la corriente eléctrica y el alambre se detienen, pero el gas continua fluyendo durante un corto tiempo mientras se enfría el baño de soldadura (Paucar, 2013) . La distancia en la que deberá quedar la pistola de la superficie a soldar deberá ser la misma que la del diámetro de la boquilla de la pistola, el electrodo deberá sobresalir de la boquilla aproximadamente unos 6 milímetros(Paucar, 2013) . La Figura 18, muestra el tipo de antorcha que se encuentra con la soldadora MIG.

Figura 18: Antorcha que ofrece el mercado.



Fuente:Autor

También existen pistolas que llevan incorporadas el carrete de alambre de aportación. Con estas pistolas se utilizan rollos de 1 o 2 libras, son portátiles y permiten hacer soldaduras a mas de 15 m del cuadro de control y mas de 60 m del equipo. Aumentando así el peso total de la pistola.

Mangueras y cables

Es necesario seleccionar minuciosamente el calibre del cable para que este de acuerdo con el amperaje que puede suministrar la maquina. En equipos automáticos se pueden tener amperajes de hasta 600 A (Paucar, 2013).

Reguladores y medidores

Estos instrumentos se utilizan para controlar correctamente la salida de gas protector, su función es la de disminuir la alta presión de gas que sale del cilindro y suministrar a la pistola el flujo necesario de gas. El regulador esta compuesto por un manómetro y un fluviómetro. El manómetro indica la presión a que se encuentra el gas dentro del cilindro y el fluviómetro

es un tubo de vidrio con una esfera pequeña dentro del tubo. Cuando se requiere graduar el flujo de gas, se abre la llave reguladora del flujómetro y pasa una corriente de gas a través de él, lo cual hace que se levante la esfera hasta el valor exacto que se está suministrando a la pistola (Paucar, 2013).

Alambre electrodo

Los electrodos se diseñan de acuerdo con el tipo de metal que se va a soldar. Dependiendo del proceso que se use, los electrodos pueden ser (Paucar, 2013):

- a de alambre desnudo
- b De alambre con fundente
- c De alambre con alma de fundente

4.2.2. Variables del proceso de soldadura MIG

Se debe identificar las variables de soldadura antes del proceso para que puedan ser ajustados. Al controlar las variables importantes, el proceso de soldadura obtendrá mejores resultados (Paucar, 2013).

Variables primarias

Son aquellas que tienen que ver directamente con el control del proceso, controlan la forma del cordón, estabilidad del arco, régimen de soldadura (velocidad de aporte y cantidad de metal adicionado) y la calidad de soldadura. Estas variables son (Paucar, 2013):

- a.- Tensión de arco
- b.- Corriente de soldadura
- c.- Velocidad de avance del aporte

Variables secundarias

Estas variables son (Paucar, 2013):

- a.- Altura de la boquilla (relacionado con la longitud del electrodo y distancia de la tobera de gas a la pieza), por lo general se empieza con 6mm e ir disminuyendo a una distancia máxima de 3mm para un buen acabado.

- b.- Angulo de la boquilla (posición de la pistola en relación con la junta de soldadura), por lo general esta entre 10 a 20 grados, este para obtener una buena protección del gas.
- c.- Velocidad de alimentación del alambre

4.2.3. Descripción del proceso de Soldadura MIG

Depuración de la superficie

Antes de comenzar, es necesario leer el manual que viene con la soldadora, para tener conocimientos básicos del equipo a usar, por lo general su uso es igual en todos (Paucar, 2013).

- a.- Instalar correctamente la pistola o soplete, el gas protector y el alambre de soldar. Luego encender el interruptor.
- b.- Encender el regulador del tanque de gas, la presión de gas se mostrara en el medidor.
- c.- Girar el regulador de gas en sentido horario, soltar el rodillo del alambre, presionar el interruptor del soplete hacia abajo y luego regular el gas a fin de cumplir con los requerimientos.
- d.- Presionar el soplete hasta que el alambre se estire hasta la boquilla.
- e.- Durante la alimentación del alambre, poner derecho el cable.
- f.- Durante la alimentación, asegurarse de que el alambre este ubicado en la ranura del rodillo de manera segura. Si la velocidad de alimentación del alambre no es pareja, es importante regular la tension del rodillo del alambre,
- g.- Para utilizar usar el alambre MIG se deberá utilizar el rodillo de alambre con la ranura en cuadrada.

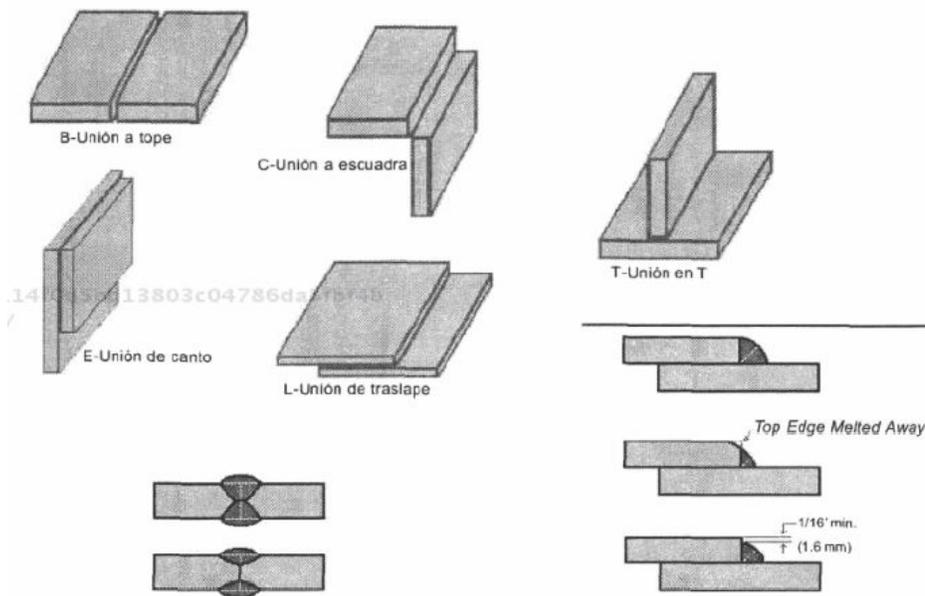
Proceso de Soldadura

- 1.- Se debe coincidir la corriente y el voltaje de la soldadora de acuerdo con el tipo de soldadora a usar.
- 2.- Dirigir hacia la junta de la soldadura la antorcha, presionar el interruptor de la soldadora, el alambre se alimenta automáticamente. Una vez que el alambre toca la pieza de trabajo se forma el arco de la soldadura. (Paucar, 2013)

4.2.4. Tipo de juntas en soldadura a usar

Se llama junta o unión a la forma en que las piezas a soldar quedaran unidas por algún método. Las juntas o uniones básicas en las que se puede efectuar una soldadura con el proceso adecuado (enseñanza de CC. OO. de Andalucía, 2010). En la Figura 19 se muestra algunos ejemplos básicos de las juntas.

Figura 19: Diseños básicos de uniones o juntas.



Fuente: enseñanza de CC. OO. de Andalucía, 2010

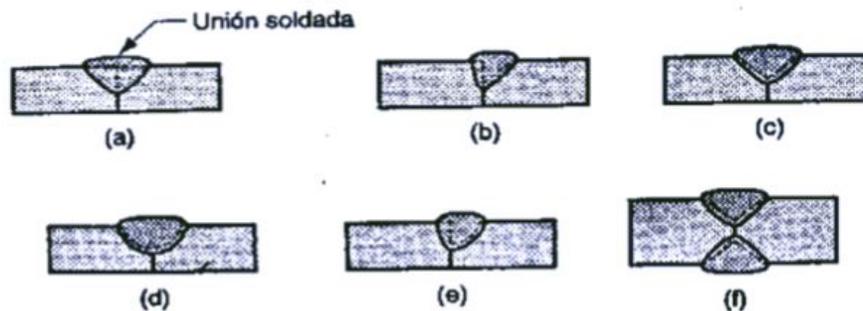
Para elegir un tipo de junta, hay que analizar cual de todas sera mejor para que la pieza cumpla su función de resistencia. En este ocasión se a elegido la unión a tope, ya que es la mas utilizada y conocida.

Unión a tope o empalmada

Consiste en unir las chapas situadas en el mismo plano. Para chapas superiores a 6 mm o para soldar por ambos lados, hay que preparar los bordes. El objetivo de esta soldadura es conseguir una penetración completa y que constituya una transición lo mas perfecta posible entre los elementos soldados. (enseñanza de CC. OO. de Andalucía, 2010).

La Figura 20 se muestra algunas uniones o juntas por soldaduras.

Figura 20: (a) soldadura a tope cuadrada, un lado; (b) soldadura de bisel único; (c) soldadura a tope en V único; (d) soldadura a tope en U único; (e) soldadura con a tope único; (f) soldadura a tope en V doble para secciones más gruesas.



Fuente: enseñanza de CC. OO. de Andalucía, 2010

4.2.5. ¿ Porque usar MIG?

Ventajas

Es necesario conocer las condiciones a favor y en contra de la soldadura MIG. Para así realizar un análisis y comprobar si resultara beneficioso o perjudicio-so para el proceso (Jeffus y Rowe, 2009):

1. La superficie soldada queda limpia y sin escoria
2. Mayor facilidad en espesores delgados
3. El arco es visible y se puede soldar en cualquier posición
4. Grandes cordones sin interrupciones
5. eficiencia del electrodo del 98
6. Presenta menos distorsión en el material (se puede lograr hasta 100 in/min)

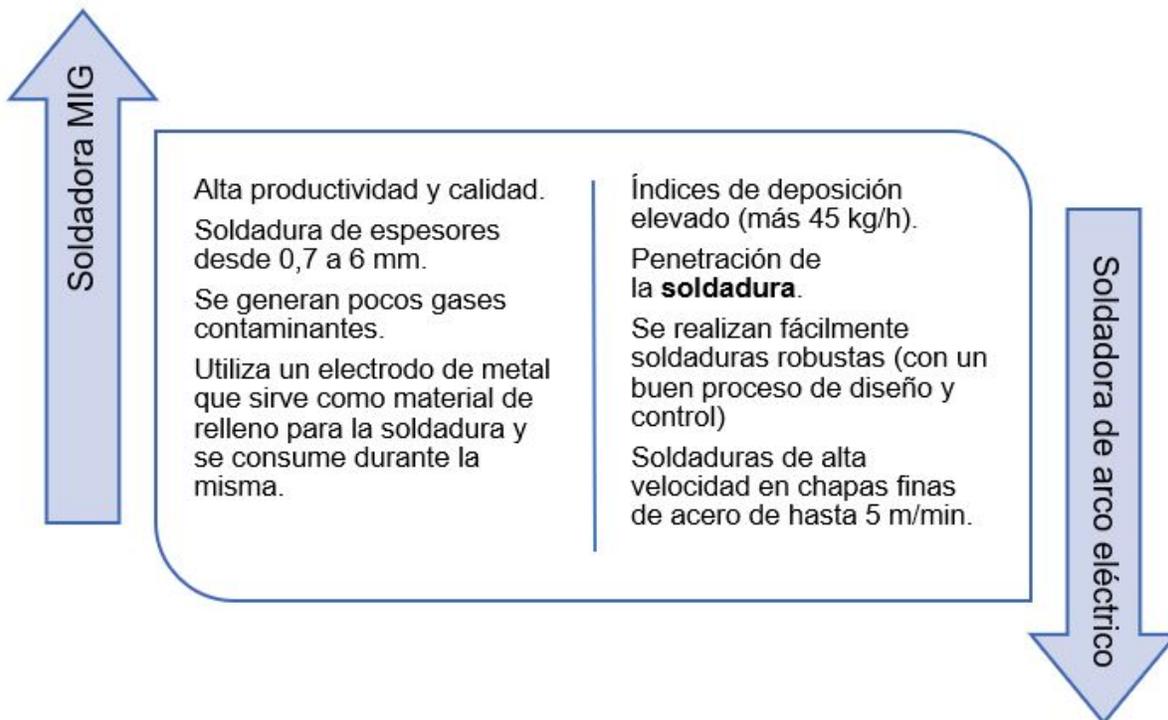
Desventajas

1. Alto costo de equipo
2. Limitación en lugares de difícil acceso

3. Es necesario mayor capacitación para aplicar proceso.
4. Se limita el espacio entre el equipo y el lugar de trabajo

se comparan diferentes procesos de soldadura respecto al proceso MIG mencionando brevemente sus características principales., en la Figura 21 se muestra la comparación entre la soldadura MIG y el arco eléctrico.

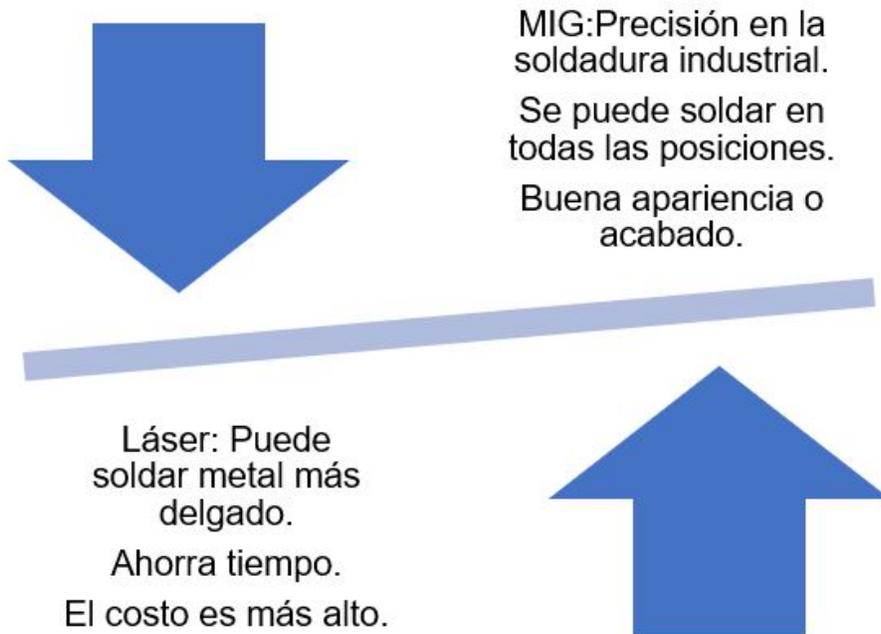
Figura 21: Comparación entre MIG con el ARCO ELÉCTRICO.



Fuente: Oygasa, 2009

En la figura 22 se compara soldadora MIG con el laser.

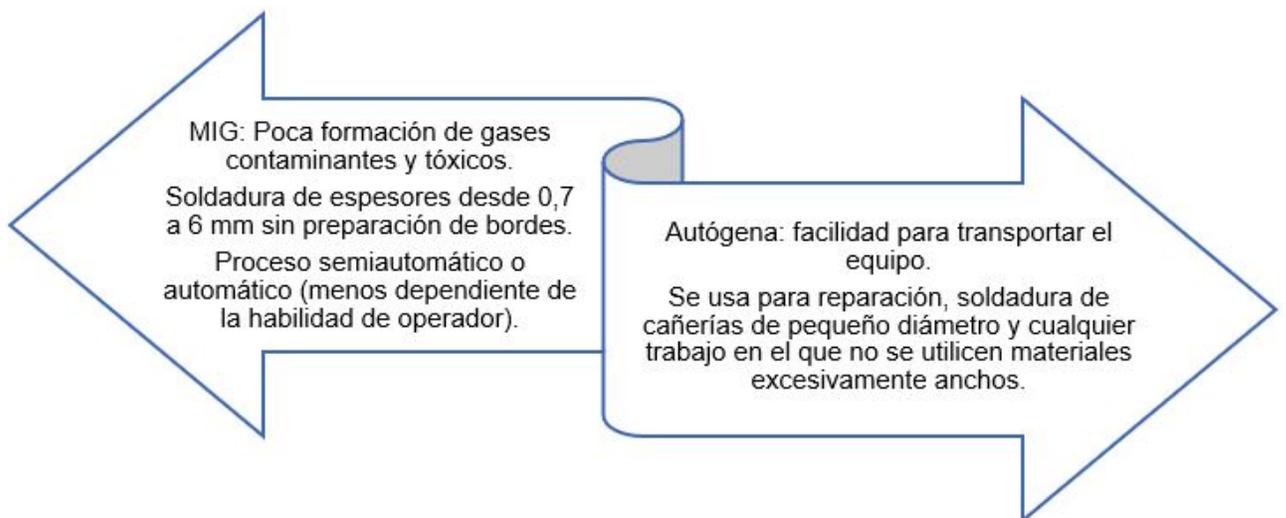
Figura 22: Comparación entre MIG con el laser.



Fuente: Oxgasa, 2009

En la Figura 23 se muestra la comparación de la soldadura MIG con la autógena.

Figura 23: Comparación entre MIG con la autógena.



Fuente: Oxgasa, 2009

Tabla 1: Tabla comparativa de los procesos de soldadura que puede utilizar para cada tipo de metal.

PROCESO	MIG	AUTÓGE	TIG	LASER	ELÉCTRI	PLASMA
SOLDADURA DE ACERO	X	X	X	X	X	X
SOLDADURA DE ACERO INOX	X	X	X	X	X	X
SOLDADURA DE ALEA DE ALU	X	X	X	X		X
SOLDADURA DE HIERRO FUN					X	X
SOLDADURA DE CROMO			X	X		X
SOLDADURA DE COBRE		X	X	X		
SOLDADURA DE LATÓN		X	X			
MAGNESIO, TITANIO...		X	X	X		X

Fuente: Molera Sola, 1992

Como se muestra en la tabla 1, la soldadora MIG funcionan en pocos procesos, pero lo que no se menciona en la tabla es que esos procesos usan únicamente gases como el Argón y el Helio. Sin embargo si se usaran mezclas de gases sus aplicaciones en distintos materiales aumentarían. En la Figura 24 se muestran los distintos gases a mezclar.

Figura 24: Principales gases y mezclas de gases utilizados en la soldadura MIG y MAG.

GASES	APLICACIONES
Argón	Aluminio y magnesio.
Helio	Aluminio, magnesio y cobre. Con este gas se disminuye el riesgo de porosidad.
Helio + argón (80 % + 20 %) hasta (50 % + 50 %)	Aluminio, magnesio y aleaciones de cobre.
Argón + 1 a 2 % de CO ₂	Aceros inoxidables, aceros aleados y también para algunas aleaciones de cobre.
Argón + 3 a 5 % de CO ₂	Aceros inoxidables, aceros aleados y aceros al carbono. Se requieren varillas desoxidantes.
Argón + 20 a 30 % de CO ₂	Aceros, para obtener transferencia por cortocircuito.
Argón + 5 % O ₂ + 15 % CO ₂	Aceros al carbono. Se requiere varilla altamente desoxidante.
CO ₂	Aceros al carbono y débilmente aleados, varilla desoxidante, es del todo esencial el uso de varilla especial.
CO ₂ + 3 a 10 % O ₂	El mismo campo de aplicación que el CO ₂ .
CO ₂ + 20 % O ₂	El mismo campo de aplicación, sólo se utiliza en Japón.
Argón + 25 a 30 % N ₂	Para soldar cobre.

Fuente: Molera Sola, 1992

5. Fundamento Metodológico

En este capítulo desarrollamos el cumplimiento de los objetivos específicos, en el sub capítulo 5.1 se identifica las características necesarias que debe tener una herramienta de acople usando la descripción del KUKA KR5 arc HW que se encuentra en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana (mas adelante reducido a robot KUKA KR5) y la descripción de la soldadora MIG 22A, 24A que se encuentra en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana(mas adelante reducido a soldadora MIG) con esta información se define las características necesarias que debe tener una herramienta de acople.

El sub capítulo 5.2 nos dice sobre el segundo objetivo específico a cumplir que es el diseñar la herramienta de acople según las necesidades identificadas, para esta sección usamos la metodología de diseño que consiste en varias fases a desarrollar como la identificación de la necesidad, investigación preliminar, ideación e invención, análisis y selección y la creación del prototipo. El sub capítulo 5.3 es sobre el tercer objetivo específico a cumplir, proponer un proceso de soldadura de unión a tope con el robot KUKA KR5, proponiendo una posición de la soldadora, definiendo los parámetros necesarios para la soldadora y el robot KUKA KR5 para su proceso de soldadura, para complementar se diseño un entorno de simulación práctico, calculando la cinemática del robot, su matriz diferencial jacobiana de velocidades, modelo de control y finalmente una interfaz capaz de controlar el proceso mediante Matlab. El sub capítulo 5.4 se trata del último objetivo específico, análisis de ventajas y desventajas del diseño propuesto con un modelo de mercado, se encuentra las ventajas y desventajas del modelo que ofrece el mercado para compararla con la herramienta de acople desarrollado en este documento.

5.1. Identificar las características necesarias que debe tener una herramienta de acople para que el ROBOT KUKA KR5 pueda realizar una soldadora MIG.

5.1.1. Descripción del KUKA KR 5 arc HW

Los brazos antropomórficos de la casa fabricante KUKA tienen seis grados de libertad, permitiendo mover cada articulación. Es importante especificar las características físicas y técnicas de este tipo de manipulador robótico. Este robot antropomórfico, está formado por eslabones unidos por medio de articulaciones rotacionales. El número de articulaciones está basado en el hecho que es necesario un número mínimo de grados de libertad para posicionar y orientar un cuerpo de cualquier manera en el espacio, tres que definen la posición y al menos otros dos para la orientación, dependiendo de la resolución que se desee el robot, la tabla 2 describe los ejes del brazo robótico KUKA KR5 de la Universidad Politécnica Salesiana con su funcionamiento.

En la Figura 25, se muestra al brazo antropomórfico KUKA KR5 que se usará para el diseño y simulación del acople.

Tabla 2: Descripción y funcionamiento de los ejes en un brazo robótico antropomórfico KUKA KR5.

EJES	DESCRIPCIÓN	FUNCIONALIDAD
1 - 3	Ejes principales	Posicionamiento
4 - 6	Ejes de la muñeca	Orientación

Fuente: Escandon Cueva, 2013

Figura 25: Brazo robot KUKA KR5-2 ARC HW



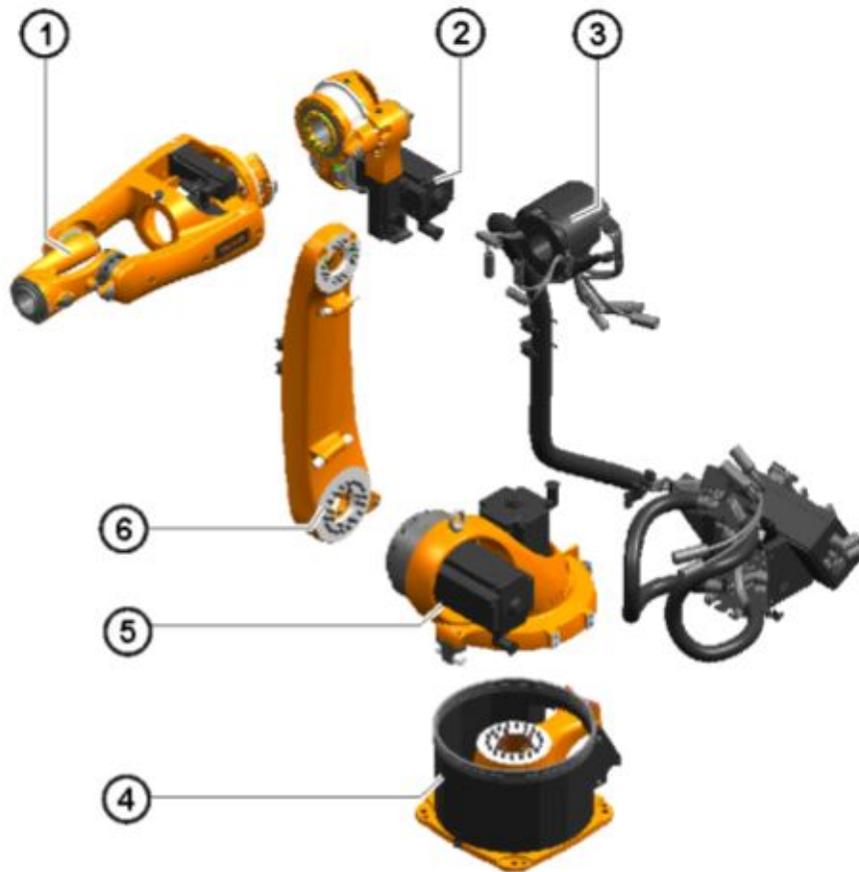
Fuente: Laboratorio Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca

Los grados de libertad están distribuidos de manera que el robot solventa el posicionamiento espacial en cualquier punto de su área de trabajo. Se detallara a mayor profundidad sus articulaciones con sus grados de libertad que analizaran para los cálculos respectivos.

Componentes principales

El robot esta diseñado como un sistema cinemático de brazo articulado de 6 ejes. Consta de los siguientes componentes principales: (Véase la Figura 26). Estos datos se aplica para todos los robots del modelo KUKA KR5 arc Hw incluido el que la Universidad Politécnica Salesiana posee en su laboratorio de robótica.

Figura 26: Montajes principales del robot KUKA KR5.



Fuente: Arriaga Segundo, 2008

- 1.- **Muñeca de eje hueco:** El robot está equipado con una muñeca de eje hueco de 2 ejes. La muñeca de eje hueco, contiene los ejes 5 y 6. Los motores de los ejes 5 y 6 están incorporados en este conjunto. Los ejes se accionan mediante correas dentadas y reductores. El diseño permite que el suministro de fluido se dirija directamente a través del centro del eje 6 hacia la aplicación (KUKA, 2016).
- 2.- **Brazo:** El brazo es el enlace entre la muñeca de eje hueco y el brazo de enlace. Alberga los motores de los ejes de muñeca A 3 y A 4. El brazo es accionado por el motor de eje 3. El ángulo de giro máximo permitido está limitado mecánicamente por un tope para cada dirección, más y menos. Los búferes asociados se adjuntan al brazo de enlace. Toda la unidad de accionamiento del eje 4 también está integrada dentro del brazo. Además, el mazo de cables para los ejes de muñeca A 5 y A 6 se instala debajo de

una cubierta. Se proporcionan instalaciones de sujeción para el equipo de aplicación de soldadura en la parte posterior del brazo. El suministro de fluido a la herramienta se dirige axial-mente a través del brazo (KUKA, 2016).

- 3.- **Instalaciones Eléctricas:** En esta sección se encuentran todas las conexiones necesarias que alimentan de corriente a todo el equipo y donde se encuentran los controladores que se encargan de transmitir las coordenadas para realizar el movimiento.
- 4.- **Bastidor de base:** El marco base es la base del robot. Está atornillado a la base de montaje. El tubo flexible para las instalaciones eléctricas se fija al bastidor base. También ubicada en el marco de la base se encuentra la caja de conexiones del cable de control (KUKA, 2016).
- 5.- **Columna giratoria:** La columna giratoria aloja los motores de los ejes 1 y 2. El movimiento giratorio del eje 1 es realizado por la columna giratoria. Este se atornilla al bastidor base a través del reductor del eje 1 y es accionado por un motor en la columna giratoria. El brazo de enlace también está montado en la columna giratoria (KUKA, 2016).
- 6.- **Brazo de enlace:** El brazo de enlace es el conjunto ubicado entre el brazo y la columna giratoria. Consiste en el cuerpo del brazo de enlace y los topes (KUKA, 2016):

Área de Trabajo

Conceptualmente el área de trabajo o también conocido como volumen de trabajo, es el espacio de puntos definidos a los cuales el robot puede alcanzar. Este espacio esta definido en base al tamaño y disposición de los eslabones, por lo cual es diferente para cada robot (Escandon Cueva, 2013). El volumen del trabajo normalmente se expresa por medio de dos gráficos descriptivos de la vista superior y una vista lateral del robot, acotadas en estándar milimétrica (mm), además de una tabla especificando el alcance máximo, carga nominal y carga extra, dependiendo de la herramienta a utilizar, repetibilidad, unidades de control, etc (Escandon Cueva, 2013). Estos datos del volumen de trabajo y la tabla con las especificaciones mecánicas se aplica para todos los robots del modelo KUKA KR5 arc Hw incluido el que la Universidad Politécnica Salesiana posee en su laboratorio de robótica.

Tabla 3: Especificaciones mecánicas del Brazo antropomórfico KUKA KR 5-2 ARC HW.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
Cargas	Carga	5 Kg
	Carga Adicional	12 Kg
Zona de trabajo	Max. Alcance	11423 mm
	Numero de ejes	6
	Repetibilidad	+/- 0.04 mm
Otros datos	Peso	126 Kg
	Posiciones de montaje	Suelo, techo
	Unidades de control	KR C2

Fuente: Escandon Cueva, 2013

Toma de medidas en laboratorio

Las medidas del robot KUKA KR5 ubicado en el laboratorio de Robótica de la Universidad Politécnica Salesiana se sacó del manual de operación del robot KUKA KR5 propio, estas dimensiones son necesarias para agregar en la simulación en el software Matlab, con estas medidas se encuentran las ecuaciones de velocidades y con las ecuaciones se podrá definir la posición del robot KUKA KR5. Se tomaron las medidas en los laboratorios respectivos, para el robot el kuka KR5 (Véase Figura 28).

Estas medidas obtenidas en el laboratorio de robótica ayudan con para obtener los parámetros iniciales que permitan desarrollar el diseño del acople de soldadura y el proceso de control para el diseño de acople a escala 1:1. De la misma forma, para ingresarlo en los software para realizar la respectiva simulación de soldadura y control.

Figura 28: Longitudes del KUKA.



Fuente: Laboratorio Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca.

A continuación se colocó frente al robot kuka la mesa de referencia para el planteamiento del proceso de soldadura y control como se muestra en la Figura 29.

Figura 29: Distancia medidas del kuka y la mesa.



Fuente: Laboratorio Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca.

5.1.2. Descripción de la Soldadora MIG 22A, 24A

Este capítulo describe la soldadura el tipo de soldadora que se usara para el diseño del acople y su simulación. Mencionando y explicando breve mente los componentes principales y señalándolos en imagen para mayor entendimiento. Para el desarrollo del acople, fue necesario tomar medidas de la pistola MIG ubicada en la Universidad Politécnica Salesiana, para tener como dato y pueda ser ingresado en la simulación mas adelante. También se detalla las especificaciones de la soldadora MIG ubicada en el laboratorio de soldadura de la Universidad Politécnica Salesiana sede cuenca.

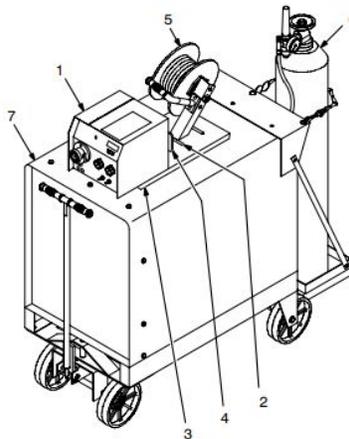
Soldadora

La unión de dos cuerpos permanentemente se ha convertido en una solución para múltiples problemas industriales, ya sea para fabricar piezas, herramientas y maquinas o para sellar contenedores. Es importante asegurar la calidad de la soldadura, para así garantizar la nueva pieza creada. Por esa razón, Niels Miller aseguran que sus productos ofrezcan un valor duradero y calidad superior en el mercado.

Componentes principales

La Figura 30, muestra la soldadora MIG, con sus partes principales, a continuación se describen. Estos datos se aplica para todos las soldadoras MIG 22A 24A incluido el que la Universidad Politécnica Salesiana posee en su laboratorio de soldadura sede cuenca.

Figura 30: Partes principales



Fuente: Rodriguez, 2013

1. **Alimentador:** Alimentador del rollo de alambre y por donde se incrusta la salida del cobre a la pistola
2. **Orejera de levantar:** Compuerta de acceso a los circuitos internos de la maquina de soldar MIG.
3. **Patas de caucho:** Son los soportes de la maquina de soldar. Sostiene toda la maquina y brinda la estabilidad necesario para su funcionamiento
4. **Ranura** Sostiene el rollo alimentador de cobre que pasara por la maquina de soldar hasta llegar a la pistola
5. **Carrete/Rollo de alambre:** Es el mismo rollo de alambre situado en el soporte de la ranura.
6. **Cilindro de gas:** Es el gas necesario para el funcionamiento de la soldadora MIG, por lo general usan argón.

Especificaciones

En la tabla 4 y tabla 5 se detalla las especificaciones de la soldadora MIG 22 A que se encuentra en el laboratorio de soldadura dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede cuenca. Podemos resaltar los diámetros que de alambre que esta soldadora es capaz de soportar y la capacidad del circuito de soldadura, los diámetros del alambre varia entre 0.6 hasta 2 mm y la capacidad del circuito es de 100 v, 500A al 100 % del ciclo de trabajo, esta es parte de la información necesaria para una futura investigación o posible implementación del acople.

Tabla 4: Especificaciones de la soldadora 22A, 24A.

TIPO DE FUERZA DE ENTRADA	TIPO DE FUENTE DE PODER	TIPO DE	GAMA DE VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN	GAMA DE DIÁMETROS DE ALAMBRE
24 Voltios CA Monofasica 7 Amperios 50/60 Hertz	Voltaje constante (VC) CD con Receptáculo de 14-pines y control de contactor		1.9 a 95 mpm (75 a 750 ppm)	0.6 a 2 mm (0.023 a 5/64 pulg) Peso del carrete de Alambre: 27 kg (60lb)

Fuente: Miller, 2009

Tabla 5: Especificaciones de la soldadora 22A, 24A.

CAPACIDAD DEL CIRCUITO DE SOLDADURA	CAPACIDAD IP	DIMENSIONES	PESO
100 Voltios, 500 Amperios, 100 % Ciclo de trabajo	IP 21	Largo:597mm (23-1/2 pulg) Ancho: 273mm (10-3/4 pulg) Alto: 279mm (11pulg)	15.9 kg (35 lb)

Fuente: Miller, 2009

Velocidad de aporte de material

La tensión de arco y la corriente de soldadura son importantes para determinar la velocidad de avance, el voltaje se signa en la soldadora y el amperaje se asigna cambiando la velocidad de alimentación del alambre. A cualquier asignación de voltaje, el amperaje requerido para derretir el alambre mientras se introduce en la soldadura debe cambiar, cuanto mas rápido se alimenta el alambre, requerimos mayor amperaje para derretirlo. Es posible asignar el amperaje utilizando la imagen 31 y midiendo la longitud de alimentación del alambre por minuto (C, 2019).

Figura 31: Velocidad de alimentación del alambre.

Velocidad de alimentación del hilo m/min	Diámetro del hilo			
	0,8 mm	0,9 mm	1,2 mm	1,6 mm
100 (2,5)	40	65	120	190
200 (5,0)	80	120	200	330
300 (7,6)	130	170	260	425
400 (10,2)	160	210	320	490
500 (12,7)	180	245	365	—
600 (15,2)	200	265	400	—
700 (17,8)	215	280	430	—

Fuente: Jeffus y Rowe, 2008

La velocidad de aporte del material puede ser entre 65 a 120 IPM, pero la soldadora 22A 24A tiene una velocidad de aporte mínima desde 75 IPM (1.9m/min) hasta una velocidad máxima de 750 IPM (19m/min). Usando la imagen 31 podemos usar una velocidad de aporte del material de 75 IPM (1.9 m/min) para un diámetro de alambre de 1mm.

Toma de medidas en laboratorio

A continuación , se tomaron las medidas necesarias en el laboratorio de soldadura. (Véase la Figura 32)

Figura 32: Distancia medidas



Fuente: Laboratorio Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca

Las medidas que se tomaron en el laboratorio de soldadura, con el fin de obtener los parámetros iniciales que permitan desarrollar el diseño del acople de soldadura y el proceso de control para el diseño de acople a escala 1:1. De la misma forma, para ingresarlo en los software para realizar la respectiva simulación de soldadura y control.

Especificaciones del alambre de la soldadora 22A, 24A

Tabla 6: Especificaciones del alambre de la soldadora 22A, 24A.

AWS A5.18	ER 70S-6
Corriente	80 - 350A
Tensión de arco	80 - 18 - 30V
Peso	15kgs
Lot No.	13083165
Diam.	1.2mm

Fuente: Soldadora 22A, 24A

La tabla 6 se especifica en la maquina de soldar. Menciona las propiedades del tipo de alambre solido a usar para el proceso MIG/MAG.

5.1.3. Características necesarias que debe tener una herramienta de acople para que el ROBOT KUKA KR5 pueda realizar una soldadora MIG

Luego de la descripción de los componentes principales y de comprender su funcionamiento del robot KUKA KR5 arc HW y de la soldadora MIG 22A 24A, Se extraer las características que consideramos necesarias para el diseño.

A partir del análisis en la descripción del KUKA KR5 arc HW de la sección 5.1.1 obtuvimos las características del KUKA KR5 y estas fueron principalmente:

1. **Dimensiones:** Este parámetro se considera importante ya que el acople fue diseñado exclusivamente para este modelo de robot KUKA KR5, las dimensiones para conectar el acople con la brida del robot KUKA KR5, los diámetros por donde se sujetara. El resto de medidas tomadas, como son del brazo, el bastidor de base, la columna giratoria y la base de enlace fueron para poder diseñar e incluir en el análisis cinemático, matriz jacobiana de velocidades y para el modelo de control en la simulación del proceso de soldadura MIG.
2. **Grados de libertad:** Este parámetro puede ya sobreentenderse puesto que los brazos robóticos KUKA tienen como mínimo seis grados de libertad, pero es necesario mencionar la cantidad de grados que posee este modelo de robot para conocer la siguiente característica.
3. **Volumen de trabajo:** Al conocer este parámetro, podemos crear la trayectoria del proceso de soldadura a tope que se propondrá con este acople, cabe mencionar que únicamente se realiza el estudio tomando los parámetros físicos de las maquinas y no se incluye la parte de programación y control del mismo KUKA KR5.

A partir del análisis en la descripción soldadora 22A 24A de la sección 5.1.2 obtuvimos las características del la soldadora MIG y estas fueron principalmente:

1. **Principio de funcionamiento y dimensión de la pistola:** Esto, con el propósito de conocer de inicio a fin el método del proceso de soldadura a usar. Para la antorcha o pistola de soldar se tomaron medidas para adaptar al acople, es necesario definir el tipo de material con el que se construirá para que pueda soportar la pistola MIG.
2. **Definir el tipo de junta:** Importante, porque va a incluir en la simulación con acople y el KUKA KR5 para así definir la trayectoria necesaria al proceso de soldadura.

3. **Variables del proceso de soldadura:** Estas son las variables para destacar dentro de un proceso de soldadura, siendo estas la tensión de arco, corriente y velocidad de avance de aporte. Para saber la intensidad requerida para el proceso es necesario conocer el material que se va a soldar, para nuestro caso, con 30A es suficiente para un espesor máximo de 1mm en caso de requerir 2mm o más el amperaje aumentaría. Otras variables igual de importantes al mencionar es la altura de la boquilla (6mm), ángulo de la boquilla (entre 10 a 20 grados).

Características para la herramienta de acople basados en las características principales de cada máquina son:

- **Dimensiones:** Exclusivo para el robot KUKA KR5 por la conexión de la brida con el acople y la pistola de la soldadora MIG 22A.
- **Rigidez:** Necesaria para resistir cualquier tipo de deformación cuando se aplica una fuerza externa o haya un sobrepeso. En esta sección es importante seleccionar el tipo de material, ya que las propiedades del material elegido afectan la rigidez torsiones de los componentes y esto nos lleva a la siguiente característica.
- **Material:** Tomando en cuenta las variables del proceso, se opta por analizar un material capaz de soportar el peso de la pistola, altas temperaturas, vibraciones y para evitar la corrosión, estas propiedades son necesarias por su durabilidad y su capacidad de soportar en condiciones ambientales muy adversas.
- **Diseño simple y confiable:** Principalmente fácil instalación y uso por el operador, el diseño se lo hizo manual pero con la capacidad de convertirla en automática con un estudio que se enfocó a ese tema, no se incluye en este trabajo.

5.2. Diseñar la herramienta de acople según las necesidades identificadas

5.2.1. Metodología para el diseño

El diseño y simulación de estudio corresponde al desarrollo de un acople para que el robot KUKA KR5 pueda sostener una pistola MIG y además realice una trayectoria de soldadura con el fin de unir dos perfiles metálicos colocados en una mesa de trabajo con se observa en la Figura 33. Es de suma importancia mencionar las ventajas de la simulación robótica por

lo que se puede reducir los gastos de construcción, niveles óptimos de rendimiento, espacios de trabajo del robot entre otros.

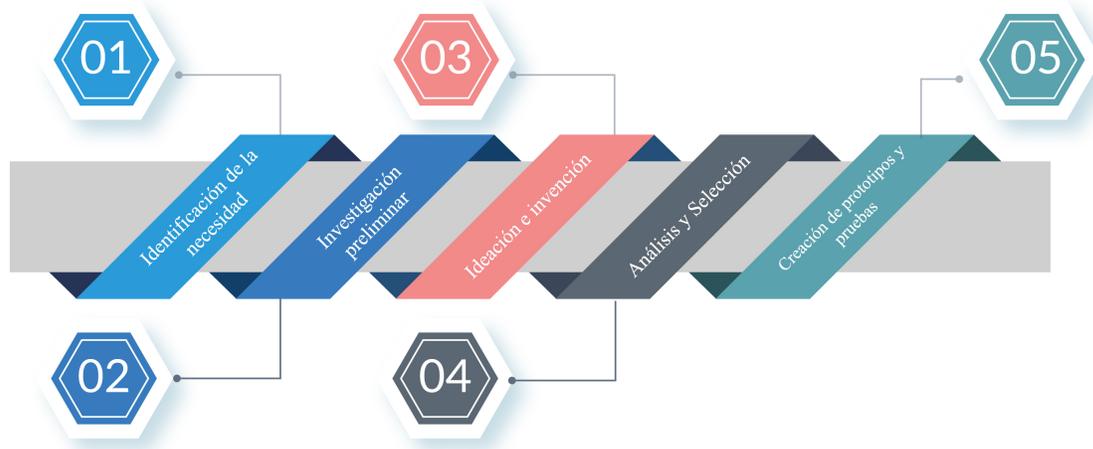
Figura 33: Caso de estudio del robot KUKA KR5.



Fuente: Autor

Si bien los diseños pasan por un ciclo de actividades y pruebas, por lo que se debe proponer más de un concepto de diseño posible como alternativa. Es ahí donde se plantea la creatividad para producir diseños verdaderamente novedosos. Cada concepto debe satisfacer las funciones y los requisitos del diseño. Con el fin de identificar si un diseño es el óptimo y, en consecuencia, viable para su desarrollo (Mott y col., 2006) En consecuencia, se debe desarrollar un estudio que permita una amplia exploración de un diseño y una evaluación técnica del mismo según sus necesidades. A partir de esto se consideró el proceso de diseño establecido por (Robert, 2009), si bien este autor propone un conjunto de fases estas no estrictamente deben desarrollarse y más bien se fundamenta algunas de estas fases como se muestra a continuación Figura 34.

Figura 34: Metodología del diseño



Fuente: Autor

5.2.2. Identificación de la necesidad

Este primer paso pretende reconocer el motivo del diseño del acople para el robot KUKA KR5. Inicialmente se nombró algunas de las ventajas de la simulación robótica, entre estos el más importante y significativo el reducir costos de construcción, por otra parte, el desarrollo de un diseño de acople para un robot permitirá al autómata desempeñar nuevas actividades según la necesidad del diseño Figura 35.

Figura 35: Robótica en el manejo de materiales.



Fuente: Electric, 2019

5.2.3. Investigación preliminar

Si bien la fase de investigación se cubrió en el objetivo específico 1 donde se mencionó las características de la soldadura MIG 22A, 24A del laboratorio de soldadura de la Universidad Politécnica Salesiana, con la que se va a trabajar y del robot KUKA KR5, por otro lado, la fase de investigación preliminar es la más importante del proceso de diseño y la más extensa del fundamento metodológico ya que reúne información necesaria para el desarrollo del diseño del acople. Esta sección está comprendida por cuatro componentes como se muestra a continuación:

- 1 Características necesarias para el diseño.
- 2 Sentidos articulares del robot KUKA KR5.
- 3 Disposición de distancias entre eslabones y ejes articulares del robot KUKA KR5.
- 4 Manejo de materiales para el diseño.

Características necesarias para el diseño de una herramienta de acople con el robot KUKA KR5 arc Hw

Como se definió en la sección 5.1.3. las características necesarias para el diseño de un acople entre la soldadora MIG 22A, 24A de la Universidad Politécnica Salesiana y el robot KUKA KR5, forman parte un grupo de consideraciones tanto de manera dependiente e independiente a cada proceso como se muestra a continuación:

❖ Parámetros independientes

- Parámetros en cuanto al proceso MIG
 - **Unión a Tope cuadrada**
 - **Dos planchas de acero al carbono 40 x 20 (cm) X 1/4 pulgada de espesor.**
 - **Distancia de la tobera 10 (mm).**
 - **Separación entre planchas 5 (mm).**
- Parámetros en cuanto al Robot KUKA KR5
 - **Dimensiones**
 - **Grados de libertad**

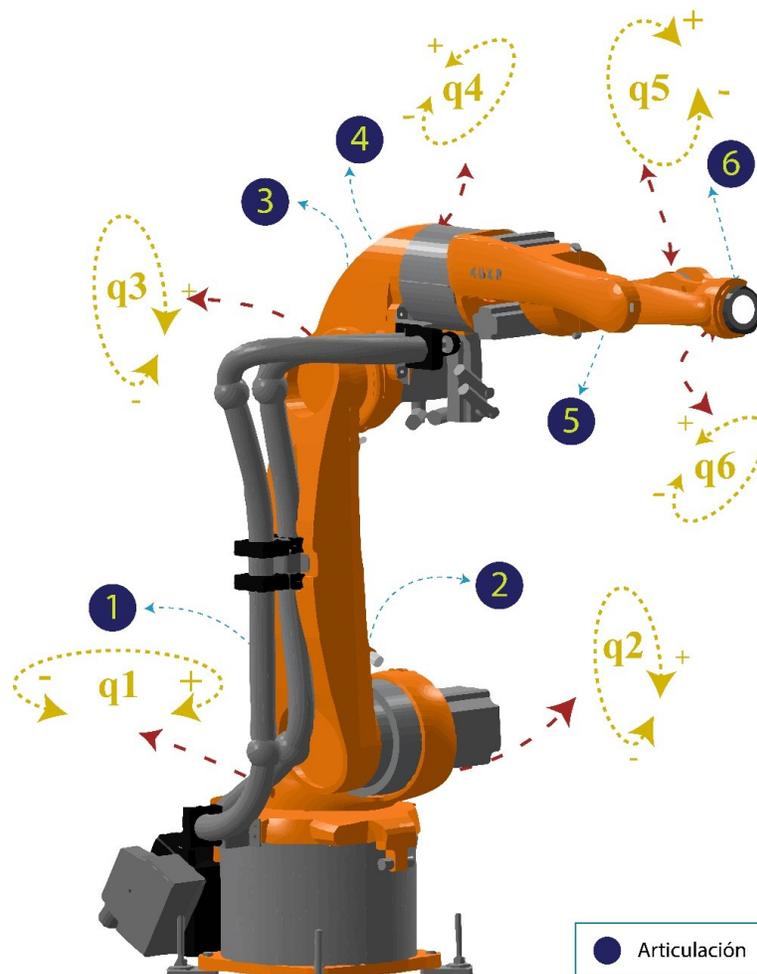
- **Volumen de trabajo**
- **Parámetros en cuanto a la soldadora MIG**
 - **Dimensiones de la pistola**
 - **Tipo de junta**
 - **El proceso de soldadura**
- ❖ **Parámetros dependientes**
 - **Parámetros en cuanto al acople con la soldadora MIG**
 - **Accionamiento depende de la soldadora no del acople**
 - **Sujeción de la pistola por el acople**
 - **Cargas de que soporta el acople según la pistola MIG 22A, 24A**
 - **Parámetros en cuanto al acople con montaje en el robot KUKA KR5**
 - **Base de sujeción del acople propio para la muñeca del robot KUKA KR5**
 - **Dimensiones del acople específicas al espacio articular del robot KUKA KR5**
 - **El montaje del acople y el robot debe ser idóneo y debe tener facilidad para su acoplamiento.**
 - **Parámetros en cuanto al acople y el proceso de soldadura MIG**
 - **El acople debe permitir una sujeción correcta de la pistola para que el robot KUKA KR5 pueda realizar una unión a tope de dos perfiles**
 - **El acople debe permitir desarrollar un proceso MIG el espacio articular del robot KUKA KR5**
 - **El acople debe facilitar el posicionamiento de la pistola para el desarrollo del proceso MIG**

Estas características identificadas podrían permitir el desarrollo de varios estudios a posibles acoples sin embargo se hace el estudio de un acople para la soldadora MIG 22A, 24A, y el robot KUKA KR5 de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Inicialmente se define los parámetros del robot ya que a partir del manipulador se ejecutarán los movimientos al acople.

Sentidos articulares del robot KUKA KR5

Si bien la descripción de la orientación del sistema de referencia de la herramienta de trabajo del robot colocada en el extremo final del robot con respecto al sistema de referencia fijo en la base del robot involucra varias rotaciones sucesivas puesto que el que el robot tiene conectado una herramienta de acople en su extremo final es de suma importancia el conocimiento de los sentidos articulares y disposición de distancias de los eslabones del robot con el fin de que el acople propuesto no intervenga en su funcionamiento (Cortés, 2013).

Figura 36: Sentido de giro de las articulaciones Robot KUKA KR5



Fuente: Autor

La Figura 36 describe la posición inicial del ROBOT KUKA KR5, así también se indica el sentido de giro de sus seis articulaciones. Sus primeros tres grados de libertad dan al autómata

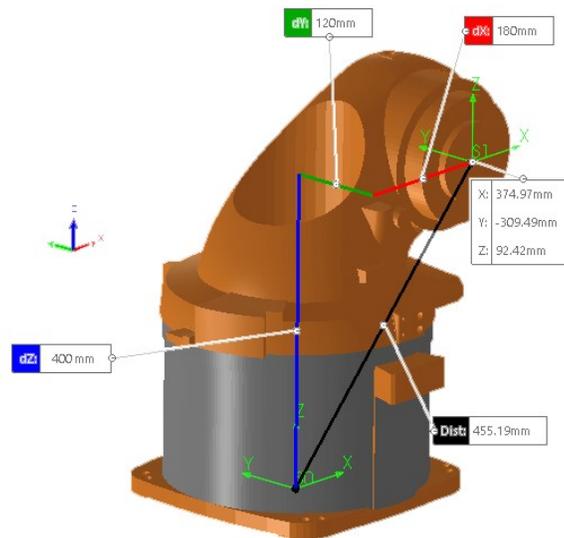
las condiciones de posición, mientras que los tres grados de libertad siguientes permiten la orientación de la muñeca del robot.

La distancia entre eslabones se mantiene fija y la rotación de las articulaciones permite la composición del área de trabajo del robot, ciertamente el autómatas no podrá sobrepasar una coordenada angular que provoque una colisión entre sus eslabones sin embargo bien podrían desempeñarse trayectorias que puedan causar daño al robot o deteriorar la vida útil del mismo, es por eso que para el desarrollo del acople de soldadura MIG se toma en consideración las distancias entre eslabones y sus posiciones de mayor alcance que puede lograr el robot una vez que se encuentre acoplado para el proceso MIG.

Disposición de distancias entre eslabones y ejes articulares del robot KUKA KR5

La Figura 37 Indica las distancias entre la base y el eslabón 1. Si se considera el eje Z según la figura la primera articulación gira respecto a este eje y sobre la base, mientras que la segunda articulación gira sobre el eje Y y en el sentido de las manecillas del reloj.

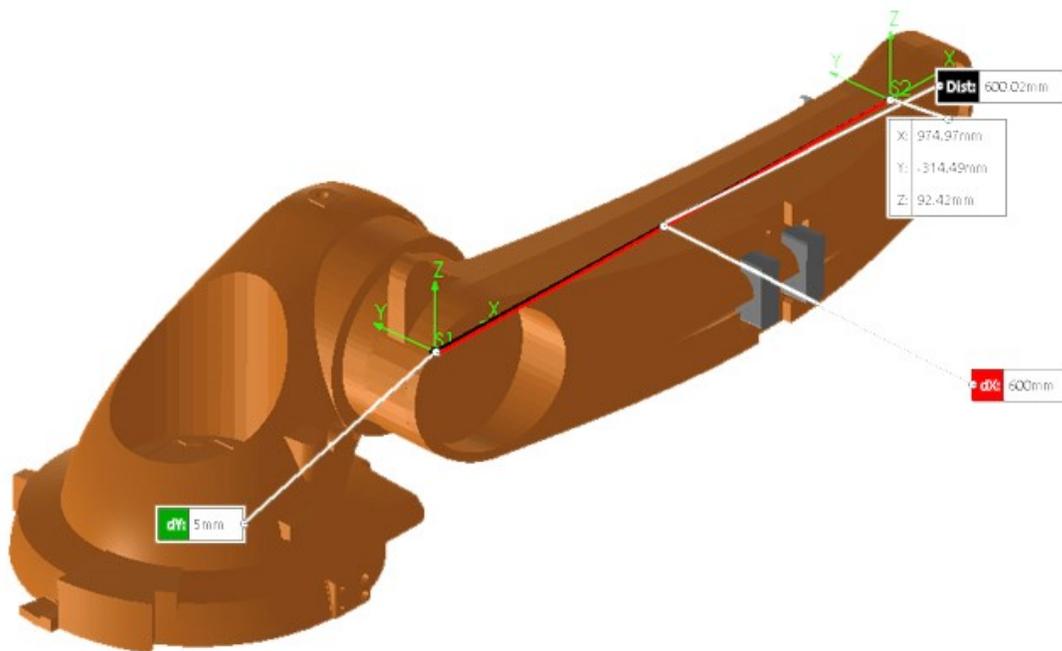
Figura 37: Distancia entre la base y el eslabón 1



Fuente: Autor

A igual que en la articulación uno se considera el eje Z según la Figura 38. Se indica las distancias entre la articulación dos y la articulación tres, la articulación tres a igual que su anterior rotan sobre el eje Y y en sentido de las manecillas del reloj, para facilidad de cálculos posteriores se denota la articulación dos a 0° , sin embargo, esta condición angular no afecta a las dimensiones de los eslabones.

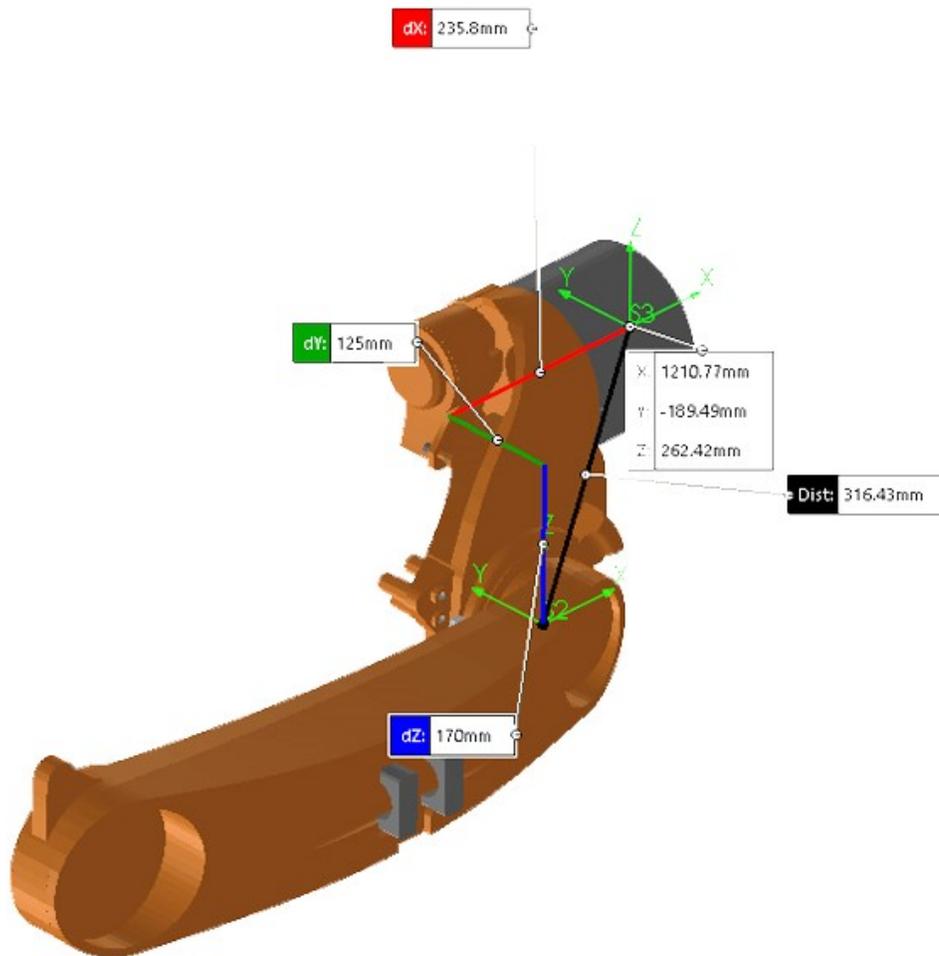
Figura 38: Distancias entre la articulación dos y tres



Fuente: Autor

La Figura 39 Indica las distancias entre la articulación tres y la articulación cuatro. A igual que en las anteriores articulaciones si se considera el eje Z según la figura la articulación cuatro gira respecto a este eje X en sentido anti-horario.

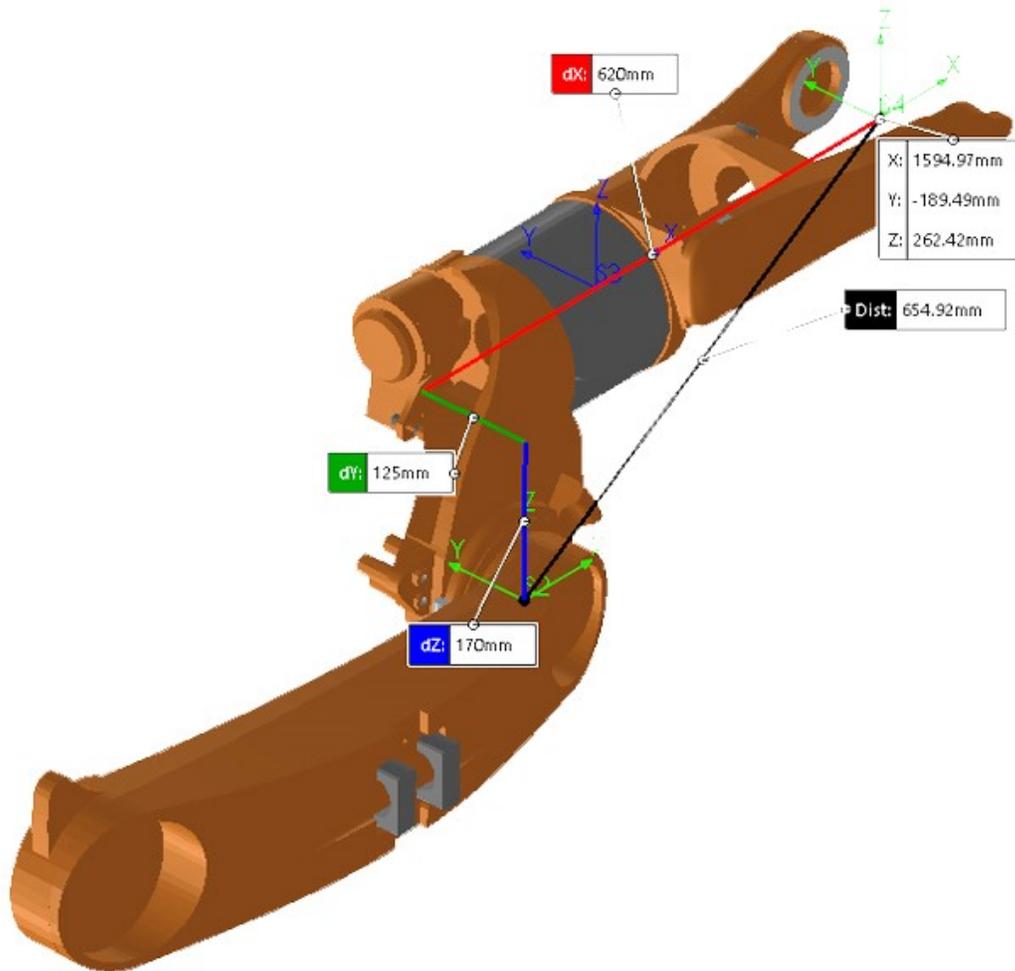
Figura 39: Distancias entre la articulación tres y cuatro



Fuente: Autor

La Figura 40 Indica las distancias entre el eje articular tres y la articulación cinco. A igual que en las anteriores articulaciones si se considera el eje Z según la figura la articulación cinco gira respecto a este eje Y a igual que la articulación dos y tres.

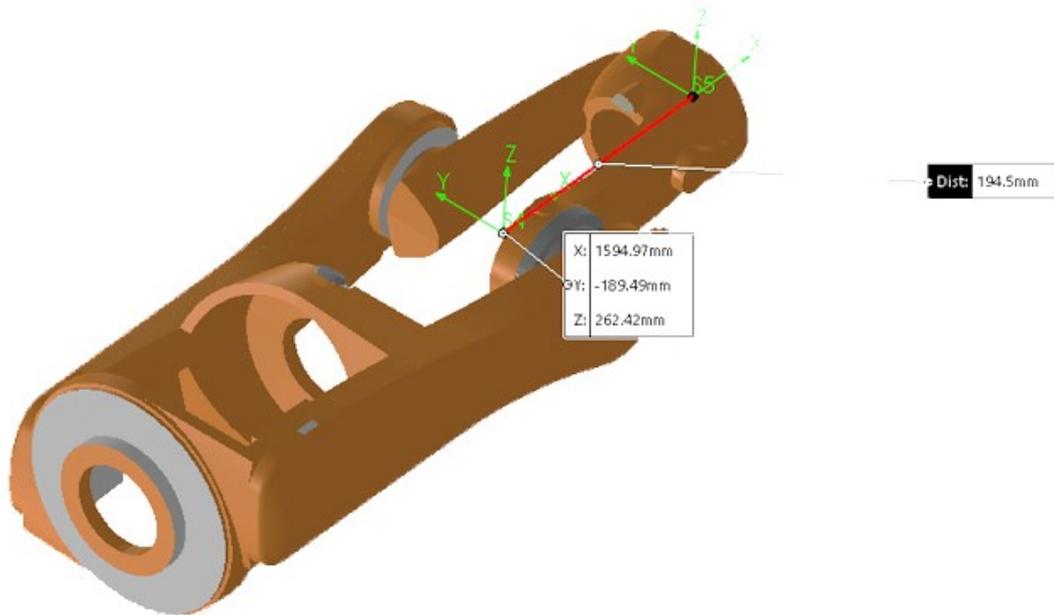
Figura 40: Distancias entre la articulación tres y cinco



Fuente: Autor

Finalmente, la Figura 41 Indica las distancias entre la articulación cinco y la articulación seis. A igual que en las anteriores articulaciones si se considera el eje Z según la figura la articulación seis gira respecto a este eje X a igual que la articulación cuatro.

Figura 41: Distancias entre la articulación cinco y la articulación seis



Fuente: Autor

Identificación del material de construcción para el acople

Al momento de diseñar una estructura o un equipo, los ingenieros tienen más de 50.000 materiales a su disposición. Al tener un menú tan amplio es fundamental un correcto manejo de materiales y de este modo llevar el material correcto al lugar indicado en el momento exacto, en la cantidad apropiada, en secuencia y en posición o condición adecuada (Meyers y col., 2006) para el diseño del acople con la soldadora MIG 22A, 24A y el robot KUKA KR5 se consideraron las propiedades de los materiales y los tipos de materiales, permitiendo así minimizar los costos de producción o en el peor de los casos desastres en el funcionamiento con el autómatas véase en la Tabla 7 las propiedades de los materiales según (Ashby, 2018)

considerados para la selección del material más adecuado para el acople.

Tabla 7: Tipos de propiedades de materiales.

Tipos de propiedades	
Económicas	Precio y disponibilidad - reciclabilidad
Físicas	Densidad
Mecánicas	Módulos - Límite elástico y resistencia a la tracción Dureza Tenacidad a la fractura Resistencia a la fatiga Resistencia a la fluencia Amortiguamiento de las vibraciones
Térmicas	Conductividad térmica Calor específico - Coeficiente de expansión térmica
Eléctricas y magnéticas	Resistividad Constante dieléctrica - Permeabilidad magnética
Interacción con el entorno	Oxidación Corrosión Desgaste
Producción	Facilidad de fabricación Unión Acabado
Estéticas	Color Textura Aspecto

Fuente: Ashby, 2018

En la actualidad la mayoría de componentes estructurales están hechos de metales y aleaciones, así también cada vez más polímeros son atractivos para los diseñadores porque ofrecen una buena combinación de propiedades, sin embargo los metales favorecerán las necesidades del acople a diseñar véase en la Tabla 8 algunos tipos de materiales.

Tabla 8: Tipos de materiales.

Tipos de materiales	
Metales y aleaciones	Hierro y aceros - Aluminio y sus aleaciones Cobre y sus aleaciones Níquel y sus aleaciones Titanio y sus aleaciones
Polímeros	Polietileno (PE) Polimetacrilato de metilo (PMMA) Poliamidas -nylon- (PA) Poliestireno (PS) Poliuretano (PU) Policloruro de vinilo (PVC) Politereftalato de etilenglicol (PET) Polieterecetona (PEEK) Resinas epoxi (EP) Elastómeros, como el caucho natural (NR)
Cerámicos y vidrios	Alúmina -esmeril, zafiro- (Al_2O_3) Magnesia (MgO) Sílice (SiO_2), vidrio y silicatos Carburo de silicio (SiC) Nítruro de silicio (Si_3N_4) Cemento y hormigón
Materiales compuestos	Polímeros reforzados con fibra de vidrio (GFRP) Polímeros reforzados con fibras de carbono (CFRP) Polímeros cargados Cermets
Materiales naturales	Madera, Piel, Algodón, lana, seda, Hueso

Fuente: Ashby, 2018

Ventajas en la selección de materiales para el acople

El objetivo principal del manejo de materiales es reducir los costos unitarios de producción. Todos los demás objetivos se subordinan a éste. Pero una verificación adecuada de la disminución de costos son los subobjetivos siguientes:

- 1 Mantener o mejorar la calidad del producto, reducir los daños y velar por la protección de los materiales.
- 2 Alentar la seguridad y mejorar las condiciones de trabajo.
- 3 Reducir el peso inútil (muerto).

Identificación de metales y aleaciones para una correcta selección

Hasta cierto punto, se requería clasificar los materiales usando el Sistema de numeración unificado (UNS, de Unified Numbering Systems), Además de la lista de los materiales bajo control de la misma ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales), el UNS coordina las designaciones de los siguientes grupos:

- La Asociación del Aluminio (AA, Aluminum Association)
- El Instituto Estadounidense del Hierro y Acero (AISI, American Iron and Steel Institute)
- La Asociación para el Desarrollo del Cobre (CDA, Copper Development Association)
- La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE, Society of Automotive Engineers)

Para el diseño de acople de soldadura robotizada se identificó al aluminio como material seleccionado debido a su gran uso en aplicaciones estructurales y mecánicas. Sus propiedades atractivas son el bajo peso, buena resistencia a la corrosión, facilidad relativa de formado y maquinado y apariencias agradables. Su densidad es, aproximadamente, la tercera parte de la del acero. Sin embargo, su resistencia también es menor (Mott y col., 2006).

Varias asociaciones industriales son responsables de establecer estándares para la clasificación de metales y aleaciones. Cada asociación tiene su propio sistema de numeración, adaptado al metal específico al que se refiere la norma, véase en la Tabla 9 según (Mott y col., 2006).

Tabla 9: Sistema unificado de numeración (UNS)

Serie de números	Tipos de metales y aleaciones	Organización responsable
Metales y aleaciones no ferrosas		
A00001-A99999	Aluminio y aleaciones de aluminio	AA
C00001-C99999	Cobre y aleaciones de cobre	CDA
E00001 - E99999	Metales de tierra rara y sus aleaciones	ASTM
L00001 - L99999	Metales de bajo punto de fusión y sus aleaciones	ASTM
MO00001 - M99999	Diversos metales no ferrosos y sus aleaciones	ASTM
N00001 - N99999	Níquel y aleaciones de níquel	SAE
P00001 - P99999	Metales preciosos y sus aleaciones	ASTM
RO0001-R99999	Metales y aleaciones reactivos y refractarios	SAE
Z00001 - Z99999	Zinc y aleaciones de zinc	ASTM
Metales y aleaciones ferrosas		
D00001 - D99999	Aceros; especificación de propiedades mecánicas	SAE
F00001 - F99999	Hierros y aceros colados	ASTM
G00001 - G99999	Aceros al carbón y aleados (incluye los aceros al carbón y aleados SAE anteriores)	AISI
H00001 - H99999	Aceros H: templabilidad especificada	AISI
J00001 - J99999	Aceros colados (excepto aceros de herramientas)	ASTM
K00001 - K99999	Diversos aceros y aleaciones ferrosas	ASTM
S00001 - S99999	Aceros resistentes al calor y a la corrosión (inoxidables) ASTM	ASTM
T00001 - T99999	Aceros de herramientas	AISI

Fuente: Mott y col., 2006

Selección del aluminio para el acople a diseñar

La Tabla 10 es una lista de varias aleaciones comunes, junto con las formas en las que se producen típicamente, y algunas de sus principales aplicaciones. También se ven en la tabla algunas de las 50 o más aleaciones disponibles, que abarcan la variedad de aplicaciones típicas. Esta tabla le ayudará a seleccionar una aleación adecuada para determinada aplicación.

Para aplicaciones en el diseño mecánico, la aleación 6061 es uno de los tipos más versátiles. Como se observa en la Tabla 10 está disponible casi en todas las formas, tiene buena resistencia a la corrosión, y se puede tratar térmicamente para obtener una gran variedad de propiedades. También tiene buena facilidad de soldadura. En sus formas más suaves se moldea y se trabaja con facilidad. Después, si se requiere mayor resistencia, se puede tratar térmicamente. Por lo que el diseño del acople del robot KUKA KR5 se selecciona al aluminio aleación 6061 como material de construcción.

Tabla 10: Aleaciones de aluminio comunes y sus aplicaciones

1060	Equipos químicos y tanques	Lámina, placa, tubo
2014	Estructuras de avión y armazones de vehículo	Lámina, placa, tubo, varilla, barra, alambre, perfiles, piezas forjadas
2024	Estructuras de avión, ruedas, piezas de máquinas	Lámina, placa, tubo, varilla, barra, alambre, perfiles, remaches
2219	Piezas sometidas a altas temperaturas (hasta 600°F)	Lámina, placa, tubo, varilla, barra, perfiles, piezas forjadas
6063	Muebles, herrajes arquitectónicos	Tubo, perfiles extraídos
7001	Estructuras de alta resistencia	Tubo, perfiles extraídos
7075	Estructuras de aviones y para trabajo pesado	Todas las formas, excepto tubos

Fuente: Mott y col., 2006

5.2.4. Ideación e invención

Esta fase contempla el desarrollo de posibles diseños sin descartar ninguno, según (Robert, 2009) es de gran ayuda plantear más de cuatro posibles modelos con la finalidad de encontrar mayor número de soluciones que permitan un correcto funcionamiento con el robot KUKA KR5 de la Universidad Politécnica de Cuenca. Por otro lado es importante añadir que cada diseño que se presenta a continuación se fundamenta en los equipos de la empresa TBi Industries GmbH que por su amplia gama de equipos de soldadura alemana, especializado en el desarrollo y producción de antorchas MIG/MAG y TIG para uso industrial como también en la tecnología de antorchas y las estaciones de limpieza para la soldadura robótica, proporciona material digital entre ellos catálogos, videos y otros. A partir de eso se consideró los siguientes modelos como base para los diseños propuestos, para validar una posible solución y selección de un diseño, se aplicara un estudio y análisis técnico que justifique dicha elección.

- TBi RM 42, RM 62, RM 72, RM 82
- TBi RM 52
- TBi KS-2
- TBi RM 52-L
- MIG-MAG welding torch TBi 150 Expert
- MIG-MAG welding torch TBi 7W Expert

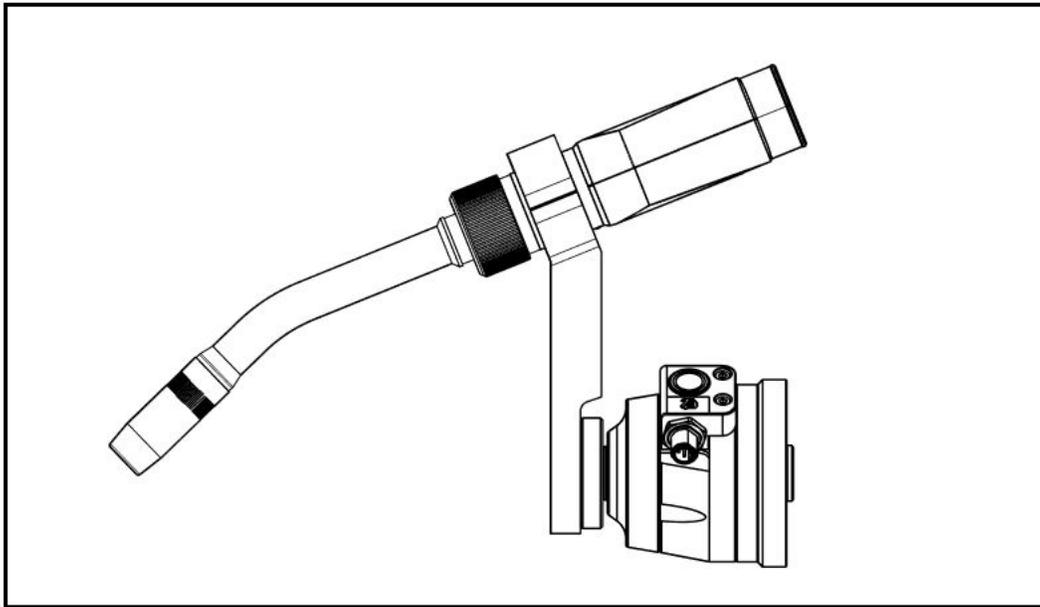
Si bien cada uno de los productos de la empresa TBi Industriales nombrados anteriormente cubren diferentes necesidades y están conformados por su propio set de acoplamiento, sin embargo para el diseño de acople con el robot KUKA KR5 de la Universidad Politécnica Salesiana se desarrolló acorde la morfología del autómatas y los requerimientos de diseño anteriormente vistos en la sección 5.1.3., puesto de esta manera cada uno de los productos anteriores servirán únicamente como guía en el diseño del acople mas no como parte de una propuesta ahora bien se propone seis diseños y se hace la elección de un solo diseño que mejor consienta la solución al problema.

Diseño 1

Se plantea una posible solución al problema véase en la Figura 42 un acople formado por una base cónica compacta que permite la sujeción hacia la muñeca del robot por su externo,

además en la parte posterior a la sujeción con el robot, se fija el elemento de sujeción de la pistola MIG, este tiene una inclinación ya establecida, y una distancia considerable al soporte de la antorcha, este acople mantiene fija a la pistola MIG y la rotación depende de la muñeca del robot.

Figura 42: Diseño 1



Fuente: Autor

Seguidamente se ilustra en la Figura 43 un diagrama de los parámetros considerados para este primer diseño, correspondientes a las necesidades planteadas y a los parámetros de diseño anteriormente nombrados en la sección 5.1.3.

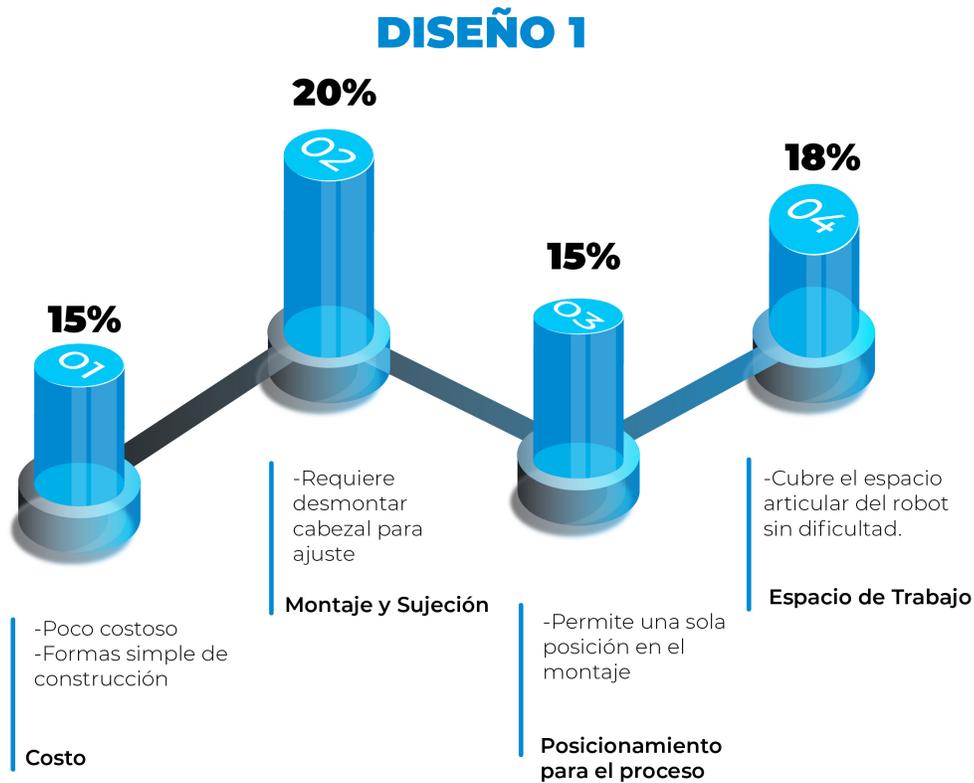
Figura 43: Parámetros para el diseño 1



Fuente: Autor

Finalmente, en la Figura 44 se argumenta las características correspondiente al diseño 1, basados en costo, montaje y sujeción, posicionamiento para el proceso y espacio de trabajo lo mas cercano a la realidad y al posible desempeño de este diseño, si bien para este tipo de análisis podrían ajustarse varios ensayos que ratificarán los resultados, sin embargo en la sección 5.2.5. Análisis y Selección se detallará cada uno de los análisis realizados, a partir del diseño escogido.

Figura 44: Características para el diseño 1

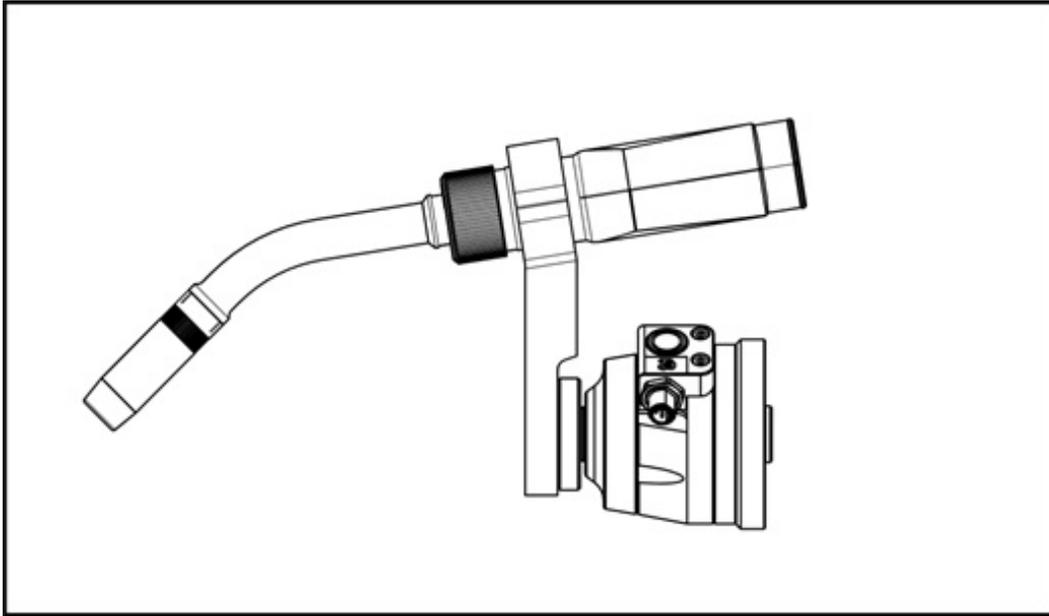


Fuente: Autor

Diseño 2

El diseño dos es una segunda posible solución al problema véase en la Figura 45 un acople formado al igual que el diseño 1 por una base cónica compacta que permite la sujeción hacia la muñeca del robot por su externo, además en la parte posterior a la sujeción con el robot, se fija el elemento de sujeción de la antorcha MIG, este tiene una inclinación ya establecida y a diferencia del diseño 1 su soporte de sujeción tiene menor altura, además la rotación depende de la muñeca del robot a igual que en el diseño 1.

Figura 45: Diseño 2



Fuente: Autor

Por otra parte, en la Figura 46 se argumenta las características para la herramienta de acople correspondiente al diseño 2, basados en las características de la soldadora MIG 22A, 24 y el robot KUKA KR5, mencionadas en investigación preliminar.

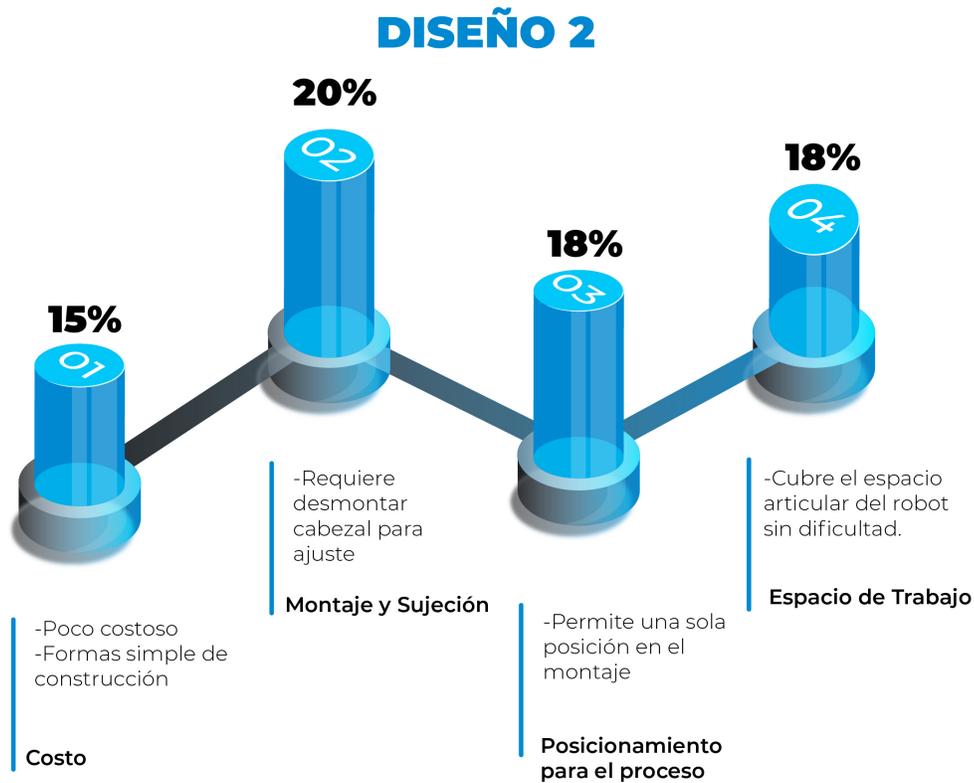
Figura 46: Parámetros para el diseño 2



Fuente: Autor

Finalmente, en la Figura 47 se argumenta las características correspondiente al diseño 2, basados en costo, montaje y sujeción, posicionamiento para el proceso y espacio de trabajo lo mas cercano a la realidad y al posible desempeño de este diseño, si bien para este tipo de análisis podrían ajustarse varios ensayos que ratificarán los resultados, sin embargo en la sección 5.2.5. Análisis y Selección se detallará cada uno de los análisis realizados, a partir del diseño escogido.

Figura 47: Características para el diseño 2

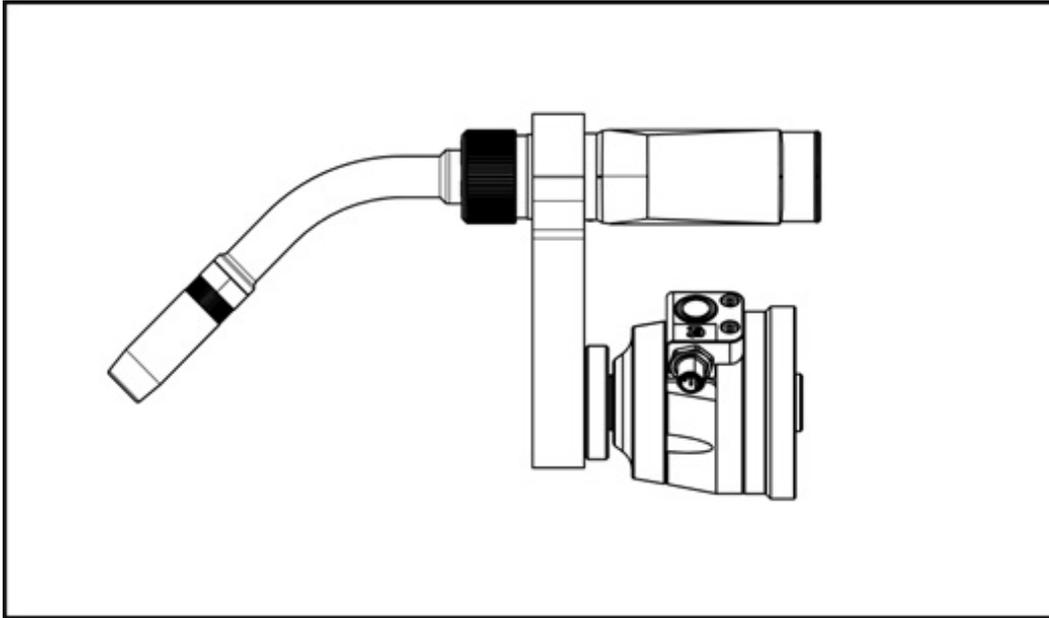


Fuente: Autor

Diseño 3

En la Figura 48 se muestra un acople similar al diseño 1 y 2, sin embargo, el elemento de sujeción de la antorcha MIG no presenta inclinación por lo que su agarre con la antorcha forman un ángulo de 90° que a diferencia del diseño 1 y 2 presentaba una inclinación fija, por otro lado la rotación del acople se mantiene a igual que los anteriores diseños, donde la rotación depende de la muñeca del robot.

Figura 48: Diseño 3



Fuente: Autor

Por otra parte, en la Figura 49 se argumenta las características para la herramienta de acople correspondiente al diseño 3, basados en las características de la soldadora MIG 22A, 24 y el robot KUKA KR5, mencionadas en investigación preliminar.

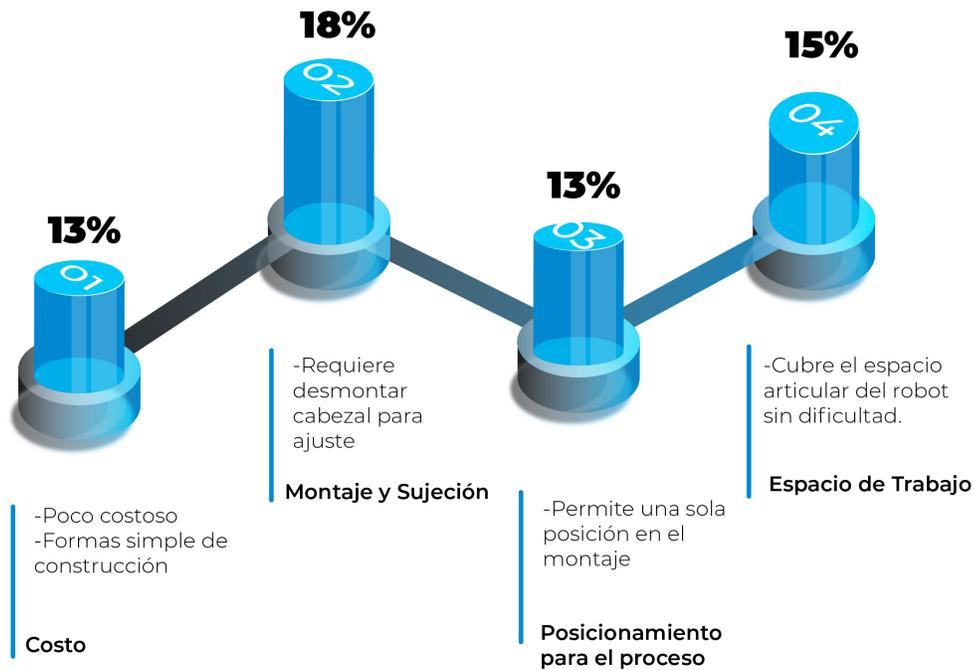
Figura 49: Parámetros para el diseño 3



Fuente: Autor

Finalmente, en la Figura 50 se argumenta las características correspondiente al diseño 3, basados en costo, montaje y sujeción, posicionamiento para el proceso y espacio de trabajo lo mas cercano a la realidad y al posible desempeño de este diseño, si bien para este tipo de análisis podrían ajustarse varios ensayos que ratificarán los resultados, sin embargo en la sección 5.2.5. Análisis y Selección se detallará cada uno de los análisis realizados, a partir del diseño escogido.

Figura 50: Características para el diseño 3

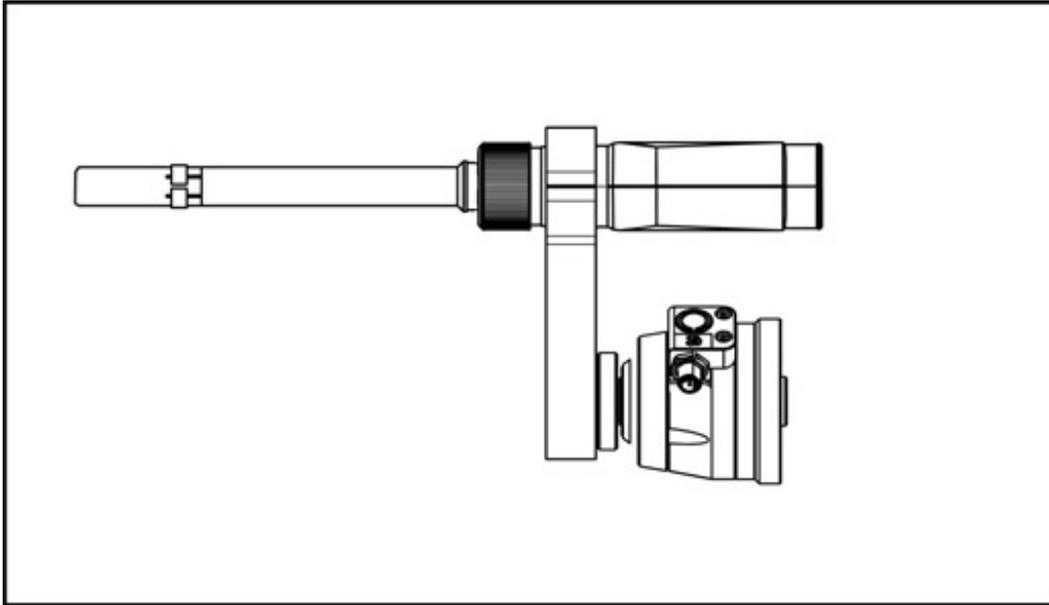


Fuente: Autor

Diseño 4

En la Figura 51 se muestra un acople similar al diseño 3, además se mantiene el elemento de sujeción de la antorcha MIG y no presenta inclinación por lo que su agarre con la antorcha forma un ángulo de 90° sin embargo la apertura de sujeción para la antorcha es superior al diseño 3 con el fin de que permita la adaptación de una pistola con terminación completamente horizontal desde el agarre el acople hasta la tobera de la antorcha. Además, la rotación del acople se mantiene a igual que los diseños anteriores, donde la rotación depende de la muñeca del robot.

Figura 51: Diseño 4



Fuente: Autor

Por otra parte, en la Figura 42 se argumenta las características para la herramienta de acople correspondiente al diseño 4, basados en las características de la soldadora MIG 22A, 24 y el robot KUKA KR5, mencionadas en investigación preliminar.

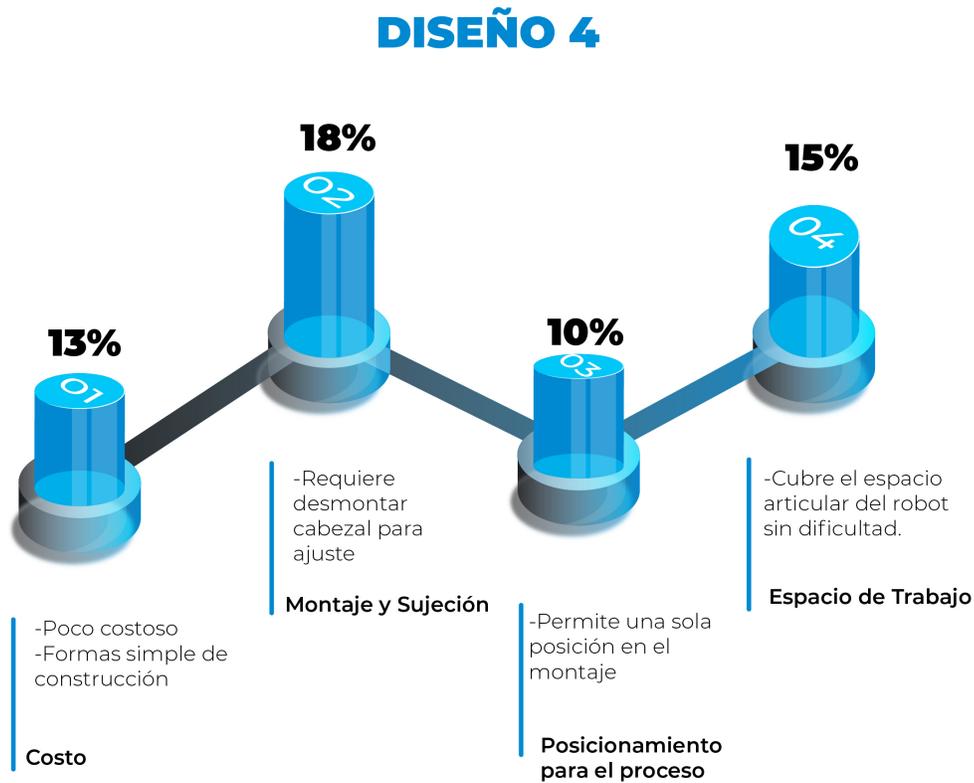
Figura 52: Parámetros para el diseño 4



Fuente: Autor

Finalmente, en la Figura 53 se argumenta las características correspondiente al diseño 4, basados en costo, montaje y sujeción, posicionamiento para el proceso y espacio de trabajo lo mas cercano a la realidad y al posible desempeño de este diseño, si bien para este tipo de análisis podrían ajustarse varios ensayos que ratificarán los resultados, sin embargo en la sección 5.2.5. Análisis y Selección se detallará cada uno de los análisis realizados, a partir del diseño escogido.

Figura 53: Características para el diseño 4

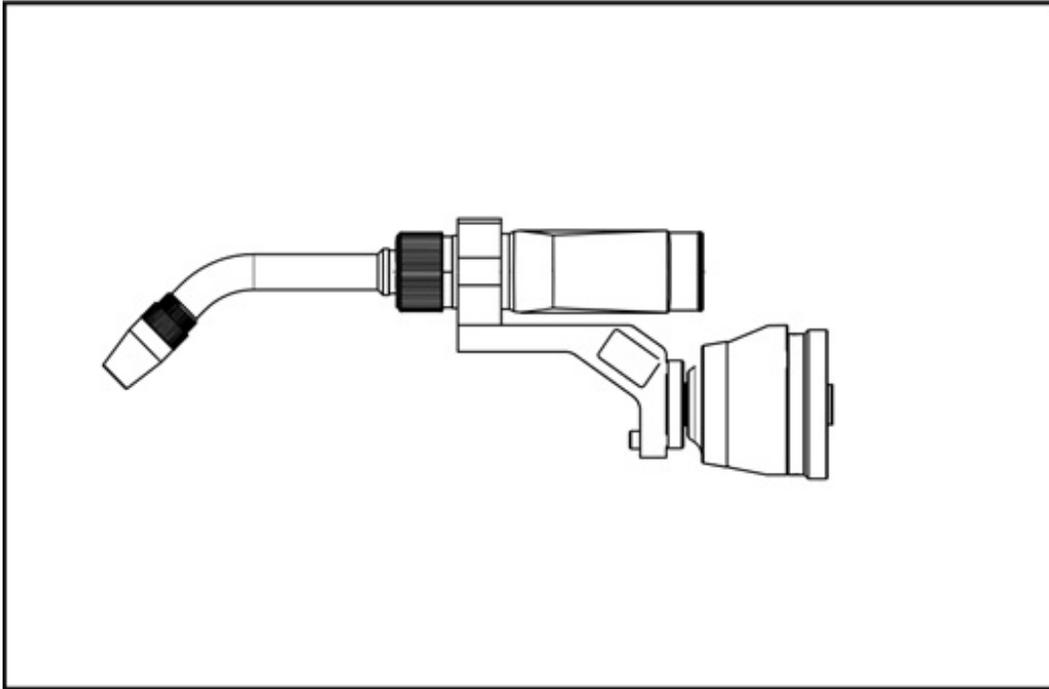


Fuente: Autor

Diseño 5

En la Figura 54 se muestra un acople, formado por una base cónica compacta que permite la sujeción hacia la muñeca del robot por su externo misma que sea visto en los anteriores diseños, sin embargo en la parte posterior a la sujeción con el robot, se fija el elemento de sujeción de la antorcha MIG, este tiene una extensión horizontal que permite mayor facilidad al montar la pistola además mantiene un agarre perpendicular al eje de la muñeca del robot, este acople mantiene fija a la pistola MIG y la rotación depende de la muñeca del robot.

Figura 54: Diseño 5



Fuente: Autor

Por otra parte, en la Figura 55 se argumenta las características para la herramienta de acople correspondiente al diseño 5, basados en las características de la soldadora MIG 22A, 24 y el robot KUKA KR5, mencionadas en investigación preliminar.

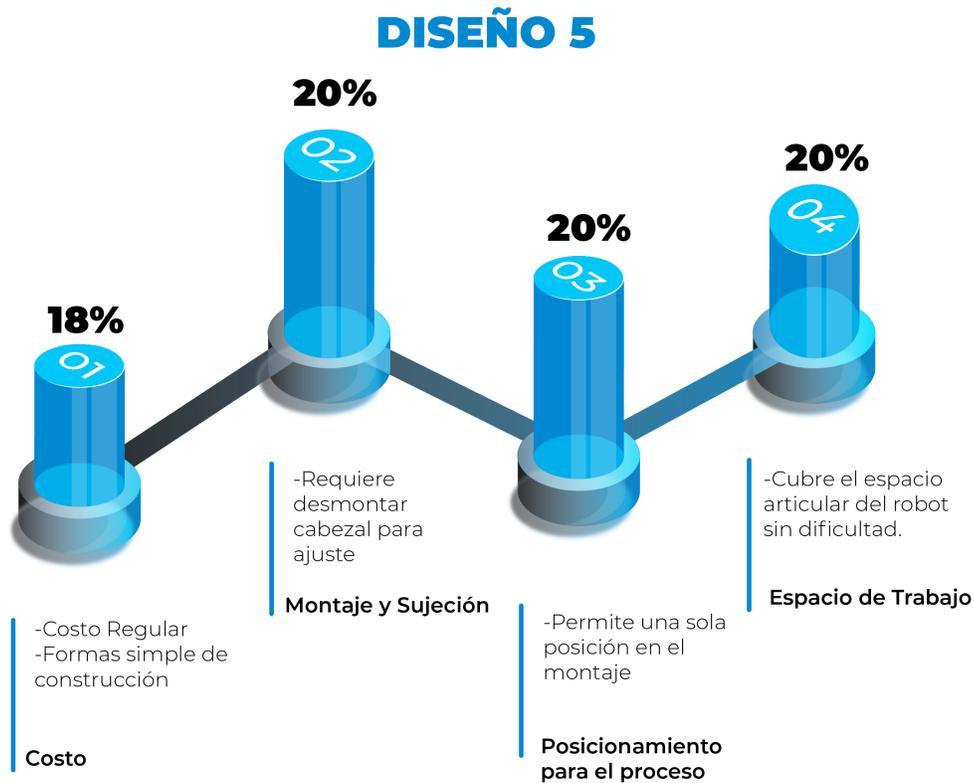
Figura 55: Parámetros para el diseño 5



Fuente: Autor

Finalmente, en la Figura 56 se argumenta las características correspondiente al diseño 5, basados en costo, montaje y sujeción, posicionamiento para el proceso y espacio de trabajo lo mas cercano a la realidad y al posible desempeño de este diseño, si bien para este tipo de análisis podrían ajustarse varios ensayos que ratificarán los resultados, sin embargo en la sección 5.2.5. Análisis y Selección se detallará cada uno de los análisis realizados, a partir del diseño escogido.

Figura 56: Características para el diseño 5

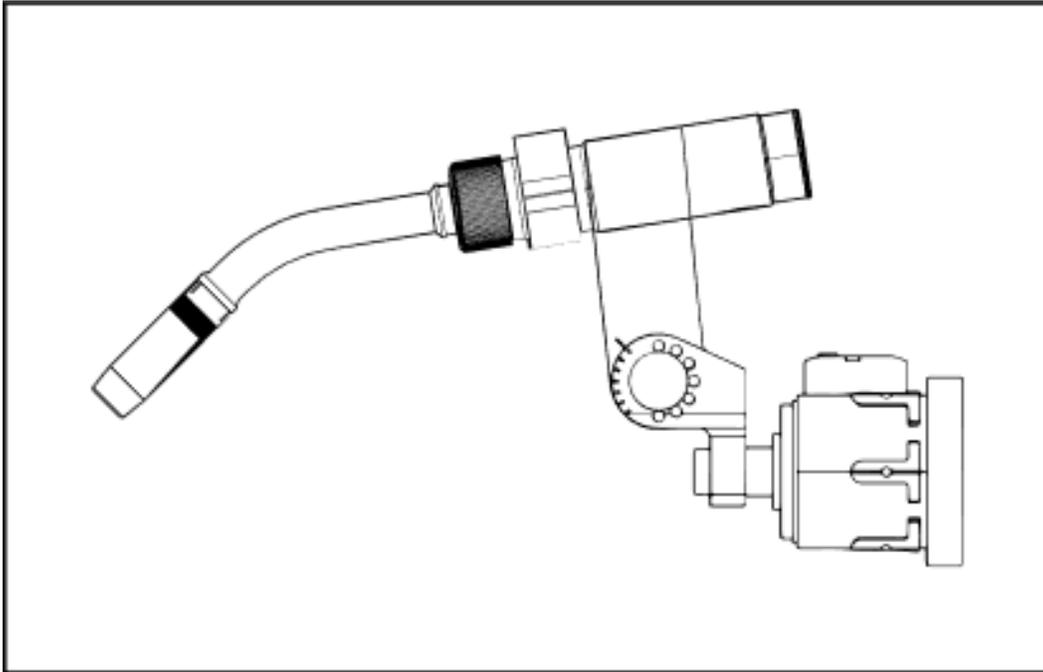


Fuente: Autor

Diseño 6

En la Figura 57 se muestra un acople, formado por una base hexagonal que permite la sujeción hacia la muñeca del robot por sus extremos del hexágono, en la parte posterior a la sujeción con el robot, se fija el elemento de sujeción de la antorcha MIG, este tiene un mecanismo selector para multi posicionamiento entregando así al robot un séptimo grado de libertad. Este acople mantiene fija a la pistola MIG y la rotación depende de la muñeca del robot y del mecanismo selector. Otro aspecto que diferencia de los demás diseños es un deposito para posibles conexiones o implementación de módulos para el control, se ubica sobre la base del acople.

Figura 57: Diseño 6



Fuente: Autor

Por otra parte, en la Figura 58 se argumenta las características para la herramienta de acople correspondiente al diseño 6, basados en las características de la soldadora MIG 22A, 24 y el robot KUKA KR5, mencionadas en investigación preliminar.

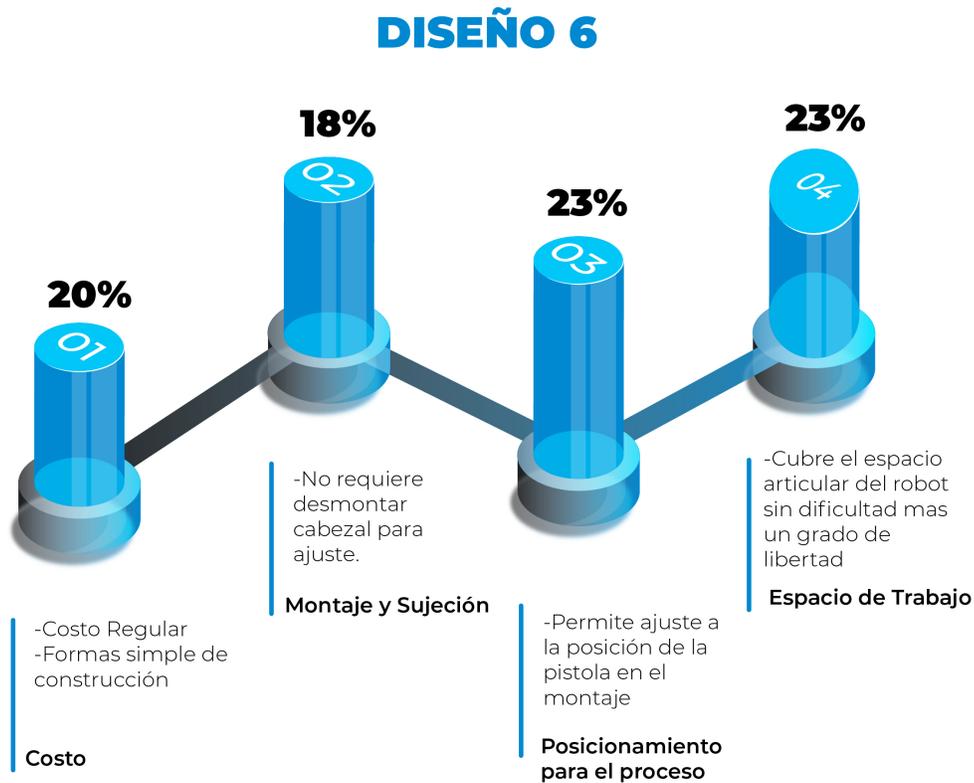
Figura 58: Parámetros para el diseño 6



Fuente: Autor

Finalmente, en la Figura 59 se argumenta las características correspondiente al diseño 6, basados en costo, montaje y sujeción, posicionamiento para el proceso y espacio de trabajo lo mas cercano a la realidad y al posible desempeño de este diseño, si bien para este tipo de análisis podrían ajustarse varios ensayos que ratificarán los resultados, sin embargo en la sección 5.2.5. Análisis y Selección se detallará cada uno de los análisis realizados, a partir del diseño escogido.

Figura 59: Características para el diseño 6



Fuente: Autor

5.2.5. Análisis y Selección

Esta fase del diseño permite una selección técnica de los diseños, incluyendo tres fases de análisis. Inicialmente se elabora una matriz de decisión de Pugh para identificar el modelo de mayor ponderación bajo los criterios principales y secundarios de esta metodología, seguidamente se escoge el diseño con mayor ponderación y se aplica el segundo estudio, que consiste en someter el diseño escogido a un análisis para fabricación y montaje (DFMA) (Boothroyd y col., 2010), obteniendo un diseño más simple y confiable. Finalmente se lleva a cabo el ultimo análisis que consiste en identificar esfuerzos y deformaciones con el material escogido aluminio aleación 6061.

Análisis a partir de la matriz de Pugh

Ya que finalmente existen seis diseños potencialmente factibles, se debe seleccionar el mejor disponible para un diseño detallado. El proceso implicará un análisis comparativo de las soluciones de diseños planteados. Para este caso se hará uso de una matriz de Pugh (PM) que permite la comparación de una serie de candidatos de diseño que conducen en última instancia a cuál cumple mejor con un conjunto de criterios. También permite un grado de optimización cualitativa de los conceptos alternativos a través de la generación de candidatos. La Matriz de Pugh es fácil de usar y se basa en una serie de comparaciones por pares entre candidatos de diseño frente a una serie de criterios o requisitos. Una de sus ventajas clave sobre otras herramientas de toma de decisiones, es su capacidad para manejar una gran cantidad de criterios de decisión (Pugh, 2009). El proceso para construir una Matriz de Pugh consta de cinco pasos, véase en la la Figura 60

- 1 Identificar y definir claramente los criterios de selección. Por lo general, cuando se usa una Matriz de Pugh para seleccionar entre varias opciones de diseño candidatas, los requisitos de diseño se pueden usar en parte o en su totalidad. Idealmente, los requisitos de diseño deberían reflejar tanto al usuario cliente como a otras partes interesadas clave, incluidas las partes interesadas internas. La solidez y validez del resultado depende fundamentalmente de un conjunto apropiado de criterios/requisitos. Apurar este paso por lo general da como resultado un resultado no sólido que se cuestiona y anula.
- 2 Use una opción de diseño candidata como línea de base y todos los criterios/requisitos básicos como 'S' (algunas personas prefieren usar una O) para esta línea de base. Si corresponde, una buena opción es usar el diseño anterior para la línea de base porque existe y, por lo tanto, su desempeño debe ser razonablemente conocido.
- 3 Compare cada opción de diseño candidata con el diseño de referencia, criterio por criterio (o requisito por requisito) y decida una "puntuación por pares con:
 - S = mismo
 - + = mejor
 - - = peor

También es posible agregar niveles extra de discriminación usando

- ++ = mucho mejor

- - = mucho peor

Algunas personas usan una escala de 1 a 5 donde la línea de base/igual es un 3 con 1 y 2 siendo mucho peor y peor respectivamente, y 4 y 5 siendo mejor y mucho mejor respectivamente

- 4 Para cada opción de diseño candidata, la puntuación total puede calcularse sumando el número de + y -. El puntaje clasificado más alto es el "ganador".
- 5 Habiendo puntuado cada opción de diseño candidata, considere híbridos combinando donde sea posible lo mejor de cada alternativa. Esta es una forma de optimización cualitativa.

Figura 60: Matriz de decisión de Pugh.

		Matriz de selección de conceptos de Pugh	Conceptos de diseño					
			Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4	Diseño 5	Diseño 6
Criterios de selección	Costo	Facilidad de construcción	S	S	S	S	S	-
		Diseño estético	S	-	-	-	++	++
		Material Resistente	S	S	S	S	S	S
	Montaje y Sujeción	Facilidad de montaje	S	S	--	-	S	+
		Sujetadores y Uniones	S	S	S	S	S	S
		Bajo Mantenimiento	S	S	S	S	S	S
	Posicionamiento para el proceso	Facilidad de Ajuste con el Robot	S	S	S	-	-	+
		Dirección de la pistola	S	+	-	--	+	+
		Facilidad de ajuste con la pistola	S	+	-	-	+	+
	Espacio de Trabajo	Permite realizar una soldadura a tope	S	+	S	-	S	+
		Permite realizar una trayectoria	S	+	S	S	S	S
		Facilidad de poscionamiento con el robot	S	S	S	-	-	+

TOTAL +	0	4	0	0	4	8
TOTAL -	0	1	5	8	2	2
TOTAL SCORE	0	3	-5	-8	2	6

Fuente: Autor

En la figura 60 se ilustra cada uno de los diseños propuestos evaluados según la matriz de decisión de Pugh, la evaluación realizada indica que con un puntaje total de 6, el diseño 6 es el que sobre sale. El diseño 2 es un segundo cercano con una puntuación de 3, y el diseño 5 es la tercera con 2. dado estos resultados es de suma importancia identificar que cada uno de los diseños propuestos podrían cubrir una necesidad específica sin embargo el diseño 6 es aquel que realizando la ponderación de criterios primarios y secundarios según Pugh solventa la problemática de la metodología de diseño.

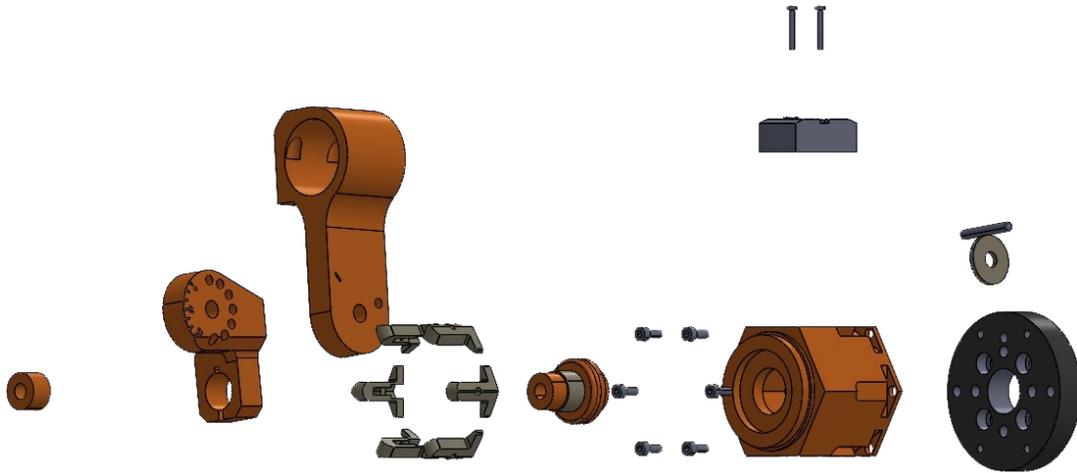
Análisis del diseño para fabricación y montaje (DFM)

El DFM significa el diseño para facilitar la fabricación de la colección de piezas que forman el producto después del ensamblaje y "diseño para el ensamblaje" (o DFA) significa el diseño del producto para la facilidad de montaje. El diseño para fabricación y montaje (DFMA) es una combinación de DFA y DFM (Boothroyd y col., 2010). Por ejemplo, el software DFMA permite a Ford construir nuevos vehículos en una fábrica virtual, donde los diseñadores pueden analizar cómo se colocará una transmisión en un vehículo en la cadena de montaje, incluso cuando la transmisión como el resto del vehículo estén todavía en la etapa de diseño. (Heizer y col., 2007) El DFMA se utiliza para tres actividades principales:

1. Como base para estudios de ingeniería concurrentes para proporcionar orientación al equipo de diseño en la simplificación de la estructura del producto para reducir los costos de fabricación y ensamblaje, y para cuantificar las mejoras.
2. Como herramienta de evaluación comparativa para estudiar los productos de la competencia y cuantificar las dificultades de fabricación y montaje.
3. Como una herramienta de costos debidos para ayudar a controlar los costos y ayudar a negociar los contratos con los proveedores.

Este estudio no pretende desarrollarse en el software DFMA desarrollado por Boothroyd Dewhurst, Inc., que contiene bases de datos y algoritmos más elaborados, sino que proporcionar un complemento útil que permite comprender los métodos involucrados para el estudio del diseño para fabricación corresponde al diseño 6 véase el modelo en 3D en la figura 61

Figura 61: Diseño 6 explosionado



Fuente: Autor

Metodología DFMA

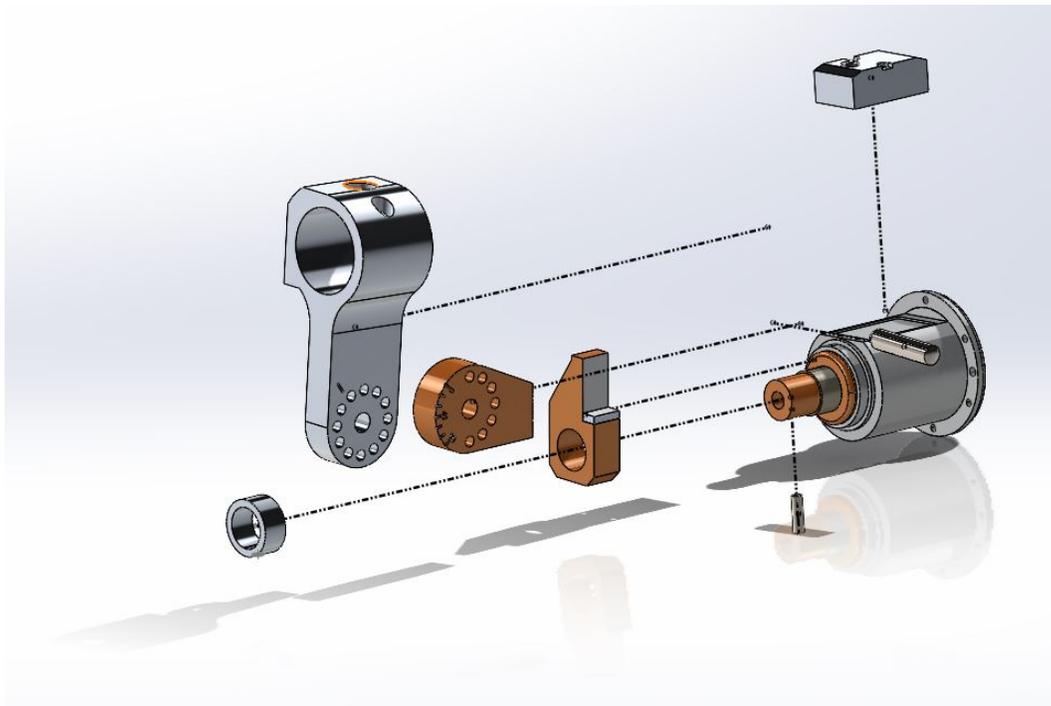
DFMA proporciona un procedimiento sistemático para analizar un diseño propuesto desde el punto de vista del montaje y la fabricación. Este procedimiento da como resultado productos más simples y confiables que son menos costosos de ensamblar y fabricar. Para guiar al diseñador a reducir el número de piezas, el método DFA define tres criterios mediante los cuales se debe comprobar cada pieza cuando se añade al producto durante el montaje (Boothroyd y col., 2010).

1. Durante el funcionamiento del producto, ¿ la pieza se mueve en relación con todas las demás piezas ya ensambladas? Solo se debe considerar el movimiento bruto; los movimientos pequeños que pueden ser acomodados por elementos elásticos integrales, por ejemplo, no son suficientes para una respuesta positiva.
2. ¿ La pieza debe ser de un material diferente o estar aislada de todas las demás piezas ya ensambladas? Solo son aceptables las razones fundamentales relacionadas con las propiedades del material.
3. La pieza debe estar separada de todas las demás piezas ya ensambladas porque, de lo contrario, sería imposible ensamblar o desensamblar otras piezas separadas.

La aplicación de estos criterios al diseño 6 se puede ver en la figura 62 donde se detalla los siguientes cambios en cuanto a los componentes del ensamble:

- **Base:** Dado que esta es la primera parte que se ensambla y cumple con los criterios se incorpora en un solo cuerpo todos los elementos que se encuentran antes del elemento selector, en cuanto al primer principio se considera al elemento base macizo ya que el movimiento proviene únicamente de la muñeca del robot, además en cuanto a la sujeción con el robot desde los extremos del cuerpo hexagonal se considera una sujeción menos incomoda desde un cuerpo cilíndrico.
- **Subconjunto del elemento selector:** Este elemento cumple con los criterios en cuanto a su construcción se considera un subconjunto de dos piezas.
- **Sujeción para pistola:** Estos no cumplen con los criterios; no podrían incorporarse al subconjunto del elemento Selector.
- **Seguro de apriete:** Este no cumplen con los criterios porque, no hay otras partes con las que se pueda combinar, por lo que es una parte teóricamente necesaria.
- **Prisioneros de apriete:** Estos no cumplen los criterios porque, no hay otras partes con las que se pueda combinar, por lo que son partes teóricamente necesarias.

Figura 62: Conjunto completo del acople para el proceso de soldadura MIG

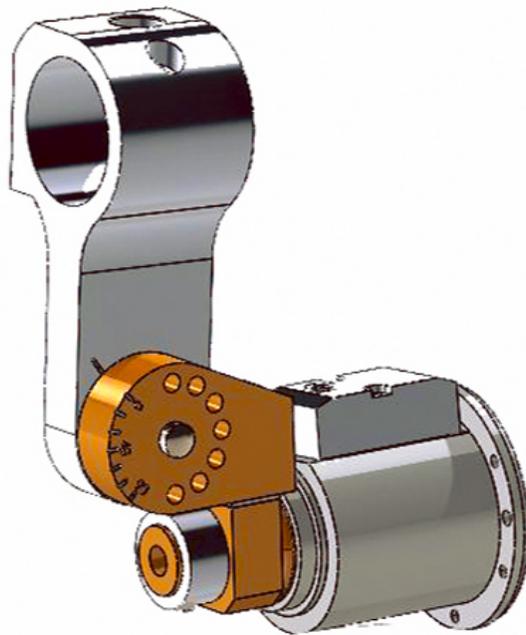


Fuente: Autor

A partir de este análisis, se puede ver que si la base se diseña en forma cilíndrica, es factible la compactación de varios elementos permitiendo reducir notablemente el número de piezas en su ensamblaje véase en la Figura 63 el ensamble completo del diseño obtenido. De ahora en adelante se señalará como diseño final a este resultado conseguido.

Nota: Revisar en Anexo 1 los planos del diseño final correspondientes a este resultado

Figura 63: Ensamble diseño 7 aplicando DFMA



Fuente: Autor

Análisis de esfuerzos y deformaciones

Los diseñadores son responsables de la seguridad de los componentes y sistemas que diseñan. Hay muchos factores que afectan la seguridad, pero uno de los aspectos más difíciles del diseño y seguridad es la cantidad de estrés que las partes expuestas de la máquina se

exponen, por lo que deben estar en condiciones seguras, que pueden preverse de manera razonable. Por supuesto, esta regla general significa que nada se rompa. Si se permite que las piezas se deformen excesivamente, incluso si no hay daños, la seguridad puede verse afectada (Mott y col., 2006).

Análisis estático

El análisis estático dentro de mecánica comprende el estudio del equilibrio de los cuerpos cuando se encuentran a una velocidad constante. (Hibbeler, 2010). El sistema que se va a estudiar no tiene movimiento o cuando mucho tiene velocidad constante entonces el sistema tiene aceleración cero, bajo esta condición se dice que el sistema está en equilibrio o bien podría decirse que el sistema está en reposo (Budynas y Nisbett, 2012). El método de diseño asegurará que el valor de la tensión sea menor que el límite elástico del material dúctil, asegurando automáticamente que la pieza no se rompa bajo carga estática y permite determinar el punto, dentro de un elemento sometido a cargas, que soporta el máximo nivel de esfuerzo. En el caso de materiales quebradizos, se proporcionarán valores de tensión inferiores a la resistencia a la tracción (Mott y col., 2006).

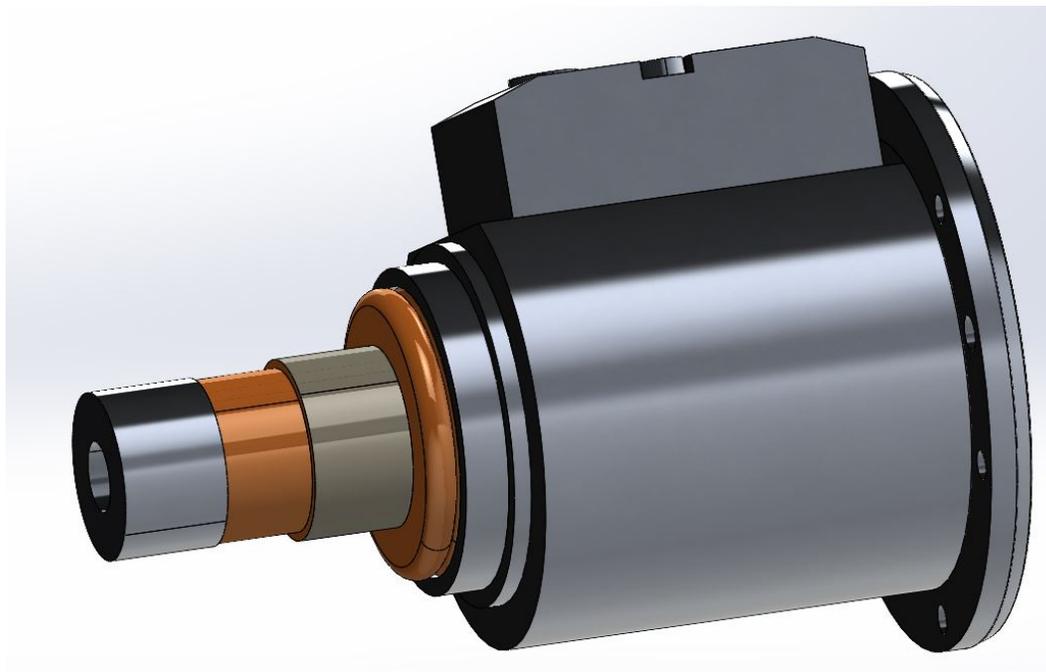
Método de la energía de distorsión para esfuerzos estáticos biaxiales o triaxiales en materiales dúctiles

El método de la energía de distorsión es el mejor estimador de la falla para materiales dúctiles bajo cargas estáticas o para esfuerzos normales, cortantes o combinados totalmente reversibles. Requiere la definición del nuevo término esfuerzo de Von Mises, representado por el símbolo σ' , que se puede calcular para esfuerzos biaxiales, con los esfuerzos principales máximo y mínimo σ_1 y σ_2 : (Mott y col., 2006).

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 * \sigma_2}$$

Para este análisis se usa el material aluminio aleación 6061 y se asumió una fuerza de 100N en el eje que soporta la antorcha. En la figura 64 se muestra el eje conectada a la base que sera sometida a la fuerza para su estudio.

Figura 64: Base del acople de soldadora



Fuente: Autor

En el software de simulación se lo agrego el material aluminio aleación 6061 y sus propiedades se presentan en la tabla 11. Además se ser un metal liviano también es resistente a la corrosión. Ideal para múltiples usos en especial porque no requiere ningún recubrimiento protector

Tabla 11: Propiedades del material

Propiedad	Valor	Unidades
Modulo elástico	6.9e+10	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Modulo cortante	2.6e+10	N/m ²
Densidad de masa	2700	kg/m ³
Limite de tracción	12408400	N/m ²
Limite de compresión		N/m ²
Limite elástico	55148500	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	2.4e-05	/K
Conductividad térmica	170	W/(m*K)

Fuente: Solidworks

Calculo de fuerza aplicado

Teniendo en cuenta la cantidad de piezas, se calcula la fuerza que soportara el eje del acople, hasta la construcción del acople total, no se puede asegurar un peso, por lo tanto se estima el peso.

$$W = m * g \quad (1)$$

$$W = (3Kg) * (9,81m/s)$$

$$W = 29,43N$$

Variables:

W= fuerza del peso

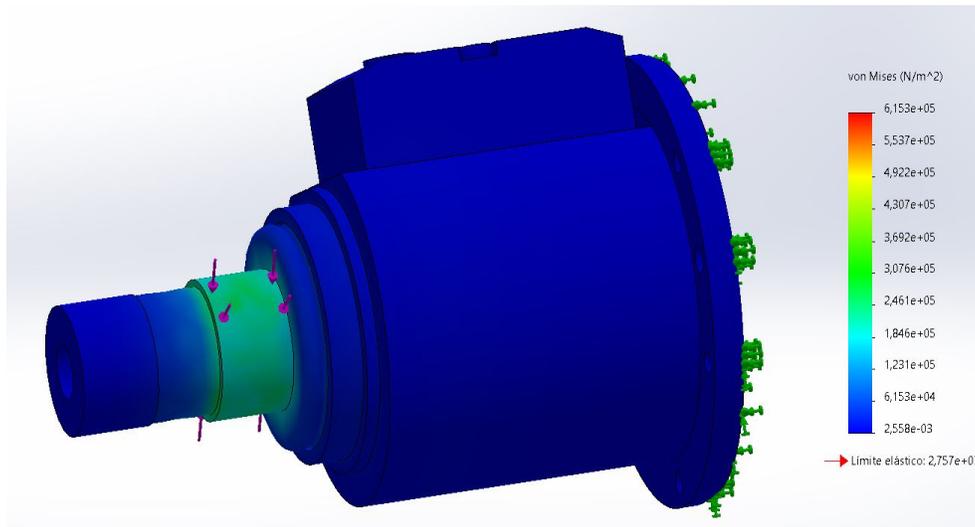
m= Peso de las piezas a soportar

g= gravedad

El peso en Newtons es de 29.43. Para asegurar el análisis se sobrestimara el peso dentro de la simulación para verificar el diseño.

Se realizo realizo dos tipos de análisis en un software CAD: Tensión de Von Mises y desplazamiento total.

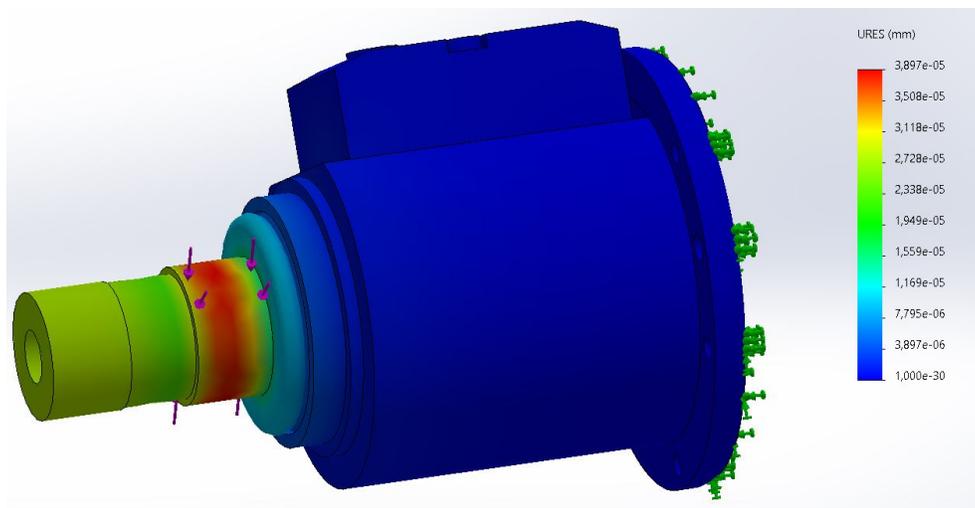
Figura 65: Simulación Base del acople de soldadora Tensión Von Mises



Fuente: Autor

En la figura 65, se observa la tensión de Von Mises soporta la fuerza de 100 N, la tensión máxima es de 615.3 KPa

Figura 66: Simulación Base del acople de soldadora Desplazamiento



Fuente: Autor

En la figura 66, se observa el desplazamiento máximo de 0.00003897 mm. El desplazamiento es mínimo, insignificante, la tensión de Von Mises es el máximo esfuerzo que sufre el material, mediante la siguiente ecuación y con los datos de la tabla 11 se comprueba que el diseño es aceptable. Usando el dato de límite de fluencia o también conocido como límite elástico.

$$\sigma_{vonMises} < \sigma_{Limiteelastico} \quad (2)$$
$$0,6153MPa < 55,1485 \times 10^6 MPa$$

El diseño no falla

Consideraciones necesarias para el proceso de soldadura MIG con el KUKA KR5 arc HW

Antes de continuar, es necesario conocer como es el proceso de soldadura MIG, la instalación de la pistola, regulador de gas y la alimentación del alambre, todo ese proceso se detalla en la sección 4.2.3 Descripción del proceso de soldadura MIG. Además se debe considerar que la alimentación eléctrica para la soldadura MIG deberá tener una entrada de poder de 24 Voltios AC con fase única de 7A 50/60 Hz.

5.2.6. Posición de la soldadora

La soldadora MIG 22A 24A se encuentra sobre una mesa de traslado con ruedas ubicados en el laboratorio de Soldar gracias a esto, el equipo de soldadura MIG puede ser fácilmente trasladado (Ver la imagen 67).

Figura 67: Soldadora MIG 22A 24A.



Fuente: Foto tomada en laboratorio de soldadura por los autores del documento.

Por otro lado el robot KUKA KR5 se encuentra instalado en el laboratorio de Robótica empotrado al suelo lo que impediría su traslado (Ver la imagen 68), por ende se recomienda mover el equipo de soldadura MIG hacia el laboratorio de Robótica para su uso.

Figura 68: Robot KUKA KR5 arc HW.



Fuente:Foto tomada en laboratorio de Robótica por los autores del documento.

La soldadora MIG podemos posicionarla fácilmente a lado de la unidad de control KUKA KR5 arc HW permitiendo así el área de trabajo del robot. El cable de la pistola de la soldadora cuenta con 3.7 metros de longitud o lo que es 12 pies, de este modo se puede instalar la pistola de la soldadora al acople y realizar el proceso de soldadura de unión a tope.

5.2.7. Parámetros a considerar para la soldadora

Antes de realizar cualquier proceso de soldadura es necesario primero elegir el tipo de gas y del alambre que se utilizara. Para elegir el tipo de gas a usar se debe conocer el material que se va a soldar, para este ejemplo se considera el acero al carbono y si revisamos la tabla 24 podemos encontrar el porcentaje de gases a usar para este material en especifico, nos recomienda usar Argón + 3 a 5% de CO₂, basándose en estos datos podemos recomendar un uso de 95% de Argón y 5% de CO₂.

Luego de definir el gas, definiremos el tipo de alambre a usar y para esto necesitaremos dos datos a usar, la composición de los alambres es similar al del material a soldar, este sera el primer dato, para el segundo dato necesitamos recordar la tabla 24 nos indica que las varillas o alambre deben ser desoxidantes. Ahora que tenemos los dos datos, el tipo de material a soldar es el acero al carbono y el segundo dato es que debe ser desoxidante podemos empezar a buscar los alambres para el acero al carbono con niveles elevados de desoxidantes, en los catálogos comerciales del mercado, utilizaremos el catalogo bajo la designación de American Welding Society (AWS A5.18 especifico para soldadura MIG) para el sistema de clasificación de electrodos (Yepes, 2020).

ER70-SX Donde:

E: Electrodo

R: Varilla de aporte

70: Resistencia mínima a la tracción nominal del deposito de soldadura.

S: Solido

X: Es un numero que indica la composición química del alambre.

Con estos datos procedemos a buscar un alambre que contenga composición de acero al carbono, niveles elevados de desoxidantes y 1mm de diámetro según el amperaje de la soldadora. El mas apropiado es el alambre ER70-S3 compuesto por acero al carbono y nivel alto de desoxidante.

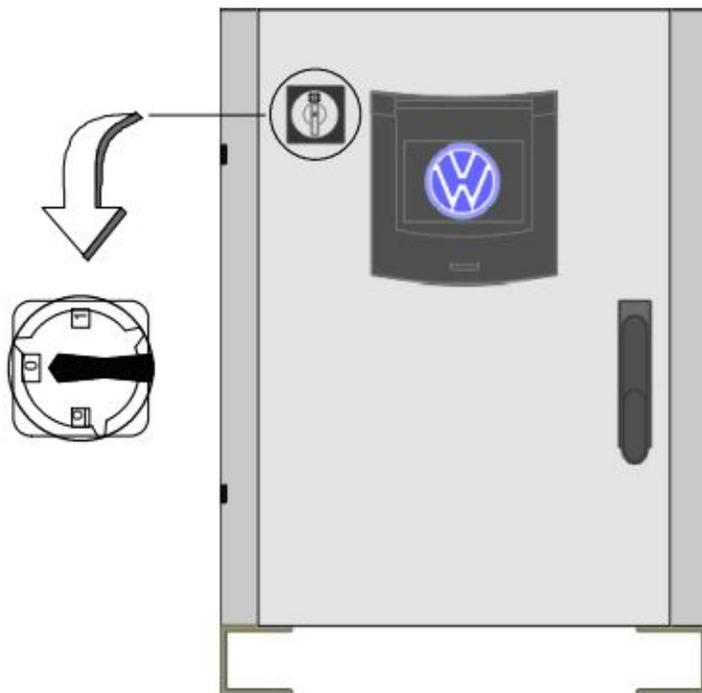
Ahora que tenemos definido el tipo de gas y tipo de alambre, continuaremos con las variables primarias presentadas en la sección 4.2.2 Variables del proceso de soldadura MIG. Estas variables son:

- Tensión de arco: Asignado por la soldadora
- Corriente de soldadura: Depende de la velocidad de avance del aporte
- Velocidad de avance del aporte: Revisar la sección 5.1.2, detalla la velocidad de aporte de materia.
- Caudal del gas protector: Es diez veces el diámetro del alambre en mm . En este caso tenemos un diámetro de alambre de 1, el caudal de gas protector seria 10 l/min. Otra opción seria, la que ofrece el fabricante del equipo.

5.2.8. Parámetros a considerar para el robot KUKA KR5

Antes de cualquier arranque de maquinas es necesario leer el manual o instructivo del mismo, para evitar mal uso o posibles accidentes que involucren la salud física del operario. El primer parámetro a considerar es el arranque / parada de la unidad de control, son los armarios de control que contienen la electrónica de potencia y la electrónica de control del robot, el interruptor principal se encuentra alojado en la parte exterior del armario de control por seguridad se encuentran desactivados apagando todo el armario e impidiendo el movimiento del robot, para accionar el robot KUKA KR5 hay que accionar el interruptor, este primer arranque de la unidad de control es la primera puesta en servicio y con esto el sistema esta preparado para su operación, como se muestra en la figura 69

Figura 69: Vista frontal armario de control



Fuente: (VKRC, 2007)

Luego de accionar el interruptor principal en el armario de control, el ordenador pondrá

en marcha el sistema operativo y el software de control, después el display muestra el menú básico que permite crear , seleccionar y ejecutar programas (VKRC, 2007). En la figura 70 se muestra el armario de control del robot KUKA KR5 con su respectivo panel de control.

Figura 70: Vista frontal armario de control KUKA KR5

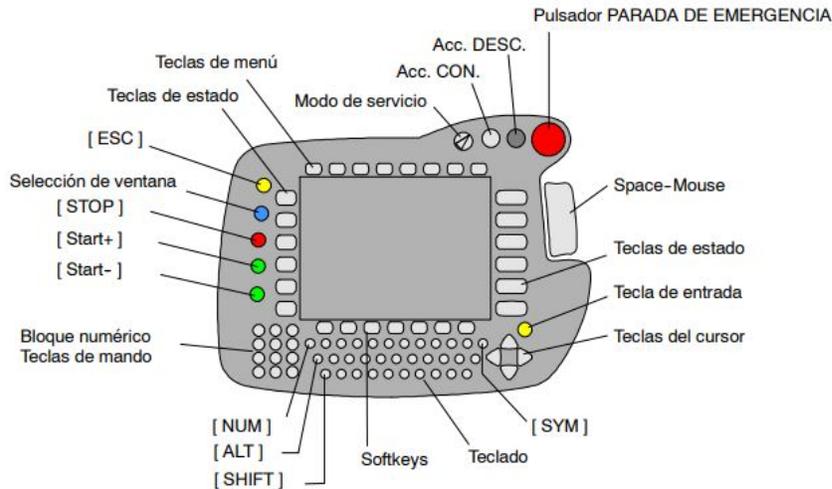


Fuente: Armario del robot KUKA KR5 ubicado en el laboratorio de robótica de la Universidad Politécnica Salesiana

Otro pulsador importante es el de parada de emergencia encontrado en el panel de control del KUKA como se muestra en la figura 71a, generalmente es de color rojo accionado por golpe se utiliza en casos de peligro, provoca una detención inmediata de los accionamientos del robot, antes de operar hay que desbloquear el pulsador de parada de emergencia, para ello debemos girar el botón en el sentido que indique la flecha hasta oír como se desencaja como se muestra en la figura 71b.

Figura 71: Parte delantera del VKCP.

(a) Elementos de mando en el parte delantera del VKCP



Fuente: VKRC, 2007

(b) Pulsador parada de emergencia.



Fuente: VKRC, 2007

Teniendo en cuenta todos estos parámetros, lo último que queda es programar la trayectoria en el robot KUKA y poner en marcha.

5.2.9. Proceso de soldadura MIG de unión a tope con el robot KUKA KR5

Luego de haber configurado la soldadora, instalar correctamente el acople al robot KUKA KR5 y de haber preparado el lugar y las piezas a soldar, es necesario primero definir la trayectoria en el robot KUKA, anteriormente se menciona que su programación requiere de otro estudio que no se abarca dentro del documento. Una vez teniendo listo todo, se proponen el siguiente proceso:

- 1.- Conectar la soldadora MIG en una entrada de poder de 24V AC con fase única de 7A 50/60 Hz.
- 2.- Encender el regulador del tanque de gas, la presión de gas se mostrara en el medidor.
- 3.- Girar el regulador de gas en sentido horario, soltar el rodillo del alambre, presionar el interruptor del soplete hacia abajo y luego regular el gas a fin de cumplir con los requerimientos.
- 4.- Utilizar el rodillo de alambre con la ranura en cuadrada.

- 5.- Durante la alimentación del alambre, poner recto el cable.
- 6.- Durante la alimentación, asegurarse de que el alambre este ubicado en la ranura del rodillo de manera segura. Si la velocidad de alimentación del alambre no es pareja, es importante regular la tensión del rodillo del alambre,
- 7.- Presionar el soplete hasta que el alambre se estire hasta la boquilla.
- 8 .- Encender la unidad de control del robot KUKA KR5 y quitar botón de emergencia del robot de la unidad (en caso de tenerlo activado).
- 9 .- Se recomienda trazar la trayectoria con la soldadora apagada para el primer recorrido, para así comprobar que no exista fallas en su programación de trayectoria y que su velocidad sea la adecuada para la soldadura.
- 10.- Una vez comprobado que el programa sea el correcto, se debe coincidir la corriente y el voltaje de la soldadora de acuerdo a la sección 5.3.2.
- 11.- Encender la soldadora MIG y ejecutar el programa que contiene la trayectoria de soldadura.

5.2.10. Entorno de simulación

Para que un robot ejecute una tarea específica, se debe establecer la posición y la orientación del efector final del robot, es decir, su posición o configuración en relación con su base, posteriormente se deberá analizar la velocidad y aceleración necesarios para el robot controle los movimientos uniformes del efector final. La relación de estos dos conjuntos en cuanto a posición y velocidades del robot permitirán al robot la ejecución de una trayectoria deseada (Kumar Saha, 2010).

Para el desarrollo del entorno de simulación donde se pretende la ejecución de una trayectoria de soldadura MIG por unión a tope del robot KUKA KR5 y su acople diseñado, se compone de las siguientes secciones:

- Cinemática directa del robot.
- Matriz diferencial jacobiana de velocidades.
- Modelo de control.

- Análisis y desarrollo de los modelos de control.
- Trayectoria de soldadura simulada.

5.2.11. Cinemática directa del robot KUKA KR 5-2 HW

La cinemática directa permite conocer la posición y dirección final que tomará el robot cuando cada variable que determina la posición u orientación de sus articulaciones tome un valor específico. Para el desarrollo de la cinemática directa se aplica el algoritmo de Denavit Hartenberg que contiene cuatro parámetros básicos que son (Barrientos y col., 2007):

- **a_i** Conocido como longitud del eslabón. Representa la distancia a lo largo del eje x_i , medida desde la intersección de x_i con z_{i-1} , hasta el origen del sistema i -ésimo para articulaciones giratorias, mientras que para las prismáticas es la distancia más corta entre z_{i-1} y z_i .
- **α_i** Se lo conoce como ángulo de torsión del eslabón. Representa el ángulo que existiría entre los ejes z_{i-1} y z_i , medido en un plano perpendicular a x_i , se utiliza la regla de la mano derecha.
- **d_i** Longitud articular. Distancia a lo largo de z_{i-1} desde el origen del sistema de coordenadas $(i-1)$ -ésimo hasta la intersección del eje z_{i-1} con x_i ; varía en las articulaciones prismáticas. Esta medida expresa la distancia entre dos eslabones, marcado por el tamaño y forma de la articulación.
- **θ_i** Ángulo articular. Ángulo que existiría entre las intersecciones de x_{i-1} y x_i medido en un plano perpendicular a z_{i-1} . Este expresa el ángulo que forman dos eslabones, marcado por la forma de la articulación.

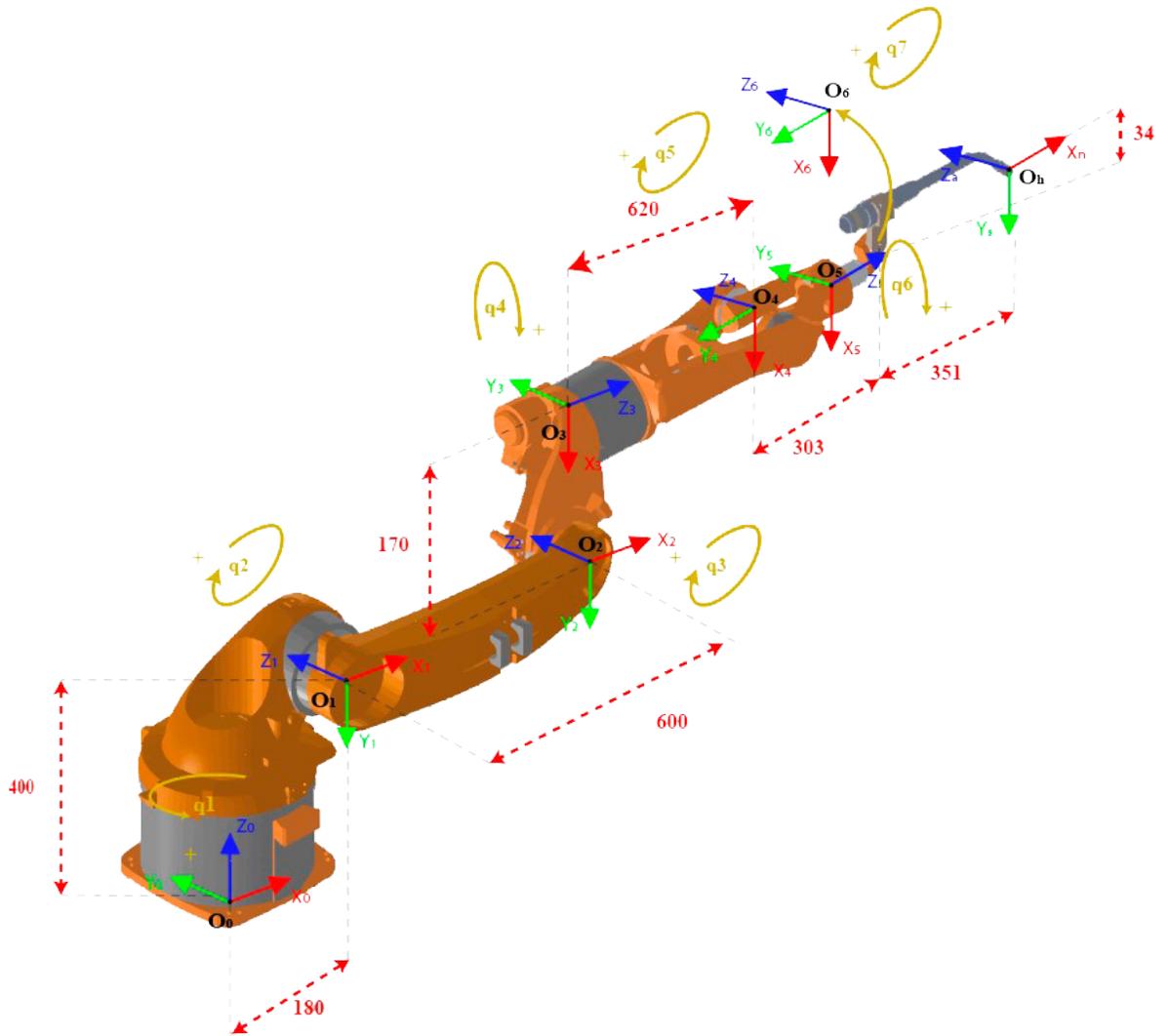
A partir de estos parámetros se determina las matrices de transformación homogénea a través de los siguientes pasos:

- 1 El primer paso es numerar los eslabones comenzando con la base fija, esta será el eslabón cero.
- 2 Colocamos el número de articulaciones comenzando con q_1 .
- 3 Seguido ubicamos el eje de cada articulación en el eje de rotación.

- 4 Ubicar el eje z_i en el eje de articulación $i+1$.
- 5 Ubicar el Sistema S_0 en el origen de la base, de manera que sus ejes cumplan con la regla de la mano derecha.
- 6 Ubicar el sistema S_i en la intersección de z_i con la normal común de z_{i-1} .
- 7 Ubicar z_i en la línea normal común de z_i con z_{i-1} .
- 8 Ubicar y_i de modo que cumpla con la regla de la mano derecha con los ejes z_i y x_i .
- 9 Colocar el sistema final de modo que coincida con S_{i-1} .
- 10 Encontrar el ángulo θ_i como el ángulo que tenemos que girar z_{i-1} para que queden paralelos x_i y x_{i-1} .
- 11 Encontrar la distancia d_i como la distancia que necesitamos desplazar sobre z_{i-1} de manera que queden alineados x_i y x_{i-1} .
- 12 Encontrar la distancia a_i como la distancia que tenemos que desplazar sobre x_i de modo que coincidan x_i con x_{i-1} .
- 13 Encontrar el ángulo α_i como el ángulo que tenemos que girar x_{i-1} para que coincida totalmente los sistemas S_i con S_{i-1} .

A partir de seguir los pasos anteriormente nombrados se obtiene lo siguiente Figura 72

Figura 72: Distancia de eslabones



Fuente: Autor

En la tabla 12 se pueden observar los parámetros de Denavit y Hartenberg correspondiente a la Figura 72

Tabla 12: Medidas entre los ejes articulares, acople y herramienta.

Articulación	θ_i	di	ai	α_i
1	q1	lz1	lx1	-90°
2	q2	0	lx2	0
3	q3 + 90	0	-lz2	90°
4	q4	lx4	0	-90°
5	q5	0	0	90°
6	q6	lx6	lz4	-90°
7	q7 - 90	0	-ly3	0°

Fuente: Autor

Mediante el análisis cinemático directo se puede obtener la localización de x, y, z de los elementos del brazo, en base a sus características geométricas, como es el ángulo existente en cada articulación ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n$)

$$x = f1(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n)$$

$$y = f2(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n)$$

$$z = f3(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n)$$

La expresión dada para el cálculo de cinemática directa es:

$$T = A_0^1 * A_1^2 * A_2^3 * \dots * A_i - 1i$$

Donde $A_i - 1i$ es la matriz de transformación homogénea general que describe la posición y orientación entre dos sistemas.

$$A_i^{i-1} = \begin{pmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i * \text{sen}\theta_i & \text{sen}\alpha_i * \text{sen}\theta_i & \alpha_i * \cos\theta_i \\ \text{sen}\theta_i & \cos\alpha_i * \cos\theta_i & -\text{sen}\alpha_i * \cos\theta_i & \alpha_i * \text{sen}\theta_i \\ 0 & \text{sen}\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Matrices de transformación obtenidas

$$A_1^0 = \begin{pmatrix} \cos q_1 & 0 & -\text{sen} q_1 & l x_1 * \cos q_1 \\ \text{sen} q_1 & 0 & \cos q_1 & l x_1 * \text{sen} q_1 \\ 0 & -1 & 0 & l z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$A_2^1 = \begin{pmatrix} \cos q_2 & -\text{sen} q_2 & 0 & l x_2 * \cos q_2 \\ \text{sen} q_2 & \cos q_2 & 0 & l x_2 * \text{sen} q_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$A_3^2 = \begin{pmatrix} -\text{sen} q_3 & 0 & \cos q_3 & l z_2 * \text{sen} q_3 \\ \cos q_3 & 0 & \text{sen} q_3 & -l z_2 * \cos q_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$A_4^3 = \begin{pmatrix} \cos q_4 & 0 & -\text{sen} q_4 & 0 \\ \text{sen} q_4 & 0 & \cos q_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & l x_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$A_5^4 = \begin{pmatrix} \cos q_5 & 0 & \text{sen} q_5 & 0 \\ \text{sen} q_5 & 0 & -\cos q_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$A_6^5 = \begin{pmatrix} \cos(q_6) & 0 & -\text{sen}(q_6) & l z_4 * \cos(q_6) \\ \text{sen}(q_6) & 0 & \cos(q_6) & l z_4 * \text{sen}(q_6) \\ 0 & -1 & 0 & l x_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$A_7^6 = \begin{pmatrix} \text{sen}(q7) & \text{cos}(q7) & 0 & -ly3 * \text{sen}(q7) \\ -\text{cos}(q7) & \text{sen}(q7) & 0 & ly3 * \text{cos}(q7) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$A_0^7 = A_2^1 * A_3^2 * A_4^3 * A_5^4 * A_6^5 * A_7^6$$

$$A_0^7 = \begin{pmatrix} \text{cos}(q1) & 0 & -\text{sen}(q1) & lx1 * \text{cos}(q1) \\ \text{sen}(q1) & 0 & \text{cos}(q1) & lx1 * \text{sen}(q1) \\ 0 & -1 & 0 & lz1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$\begin{pmatrix} \text{cos}(q2) & -\text{sen}(q2) & 0 & lx2 * \text{cos}(q2) \\ \text{sen}(q2) & \text{cos}(q2) & 0 & lx2 * \text{sen}(q2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{pmatrix} -\text{sen}(q3) & 0 & \text{cos}(q3) & lz2 * \text{sen}(q3) \\ \text{cos}(q3) & 0 & \text{sen}(q3) & lz2 * \text{cos}(q3) \\ 0 & 1 & 0 & lz1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$\begin{pmatrix} \text{cos}(q4) & 0 & -\text{sen}(q4) & 0 \\ \text{sen}(q4) & 0 & \text{cos}(q4) & 0 \\ 0 & -1 & 0 & lx4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$\begin{pmatrix} \text{cos}(q5) & 0 & \text{sen}(q5) & 0 \\ \text{sen}(q5) & 0 & -\text{cos}(q5) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$\begin{pmatrix} \text{cos}(q6) & 0 & -\text{sen}(q6) & lz4 * \text{cos}(q6) \\ \text{sen}(q6) & 0 & \text{cos}(q6) & lz4 * \text{sen}(q6) \\ 0 & -1 & 0 & lx6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (16)$$

$$\begin{pmatrix} \text{sen}(q7) & \text{cos}(q7) & 0 & -ly3 * \text{sen}(q7) \\ -\text{cos}(q7) & \text{sen}(q7) & 0 & ly3 * \text{cos}(q7) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (17)$$

$$A_7^0 = \begin{pmatrix} a11 & a12 & a13 & a14 \\ a21 & a22 & a23 & a24 \\ a31 & a32 & a33 & a34 \\ a41 & a42 & a43 & a44 \end{pmatrix} \quad (18)$$

$$x = a14, y = a24, z = a34 \quad (19)$$

Nota: Revisar en Anexo 3: Análisis cinemático en matlab

Pruebas Cinemática directa

La ecuación 18 comprende el modelo cinemático del robot KUKA KR5 de seis grados de libertad en conjunto con el acople diseñado de un grado de libertad adicional, como resultado un sistema de siete grados de libertad si bien el modelo de la Ecuación 18 se presenta de manera simbólica se plantea evalúa al sistema cuando todas las variables articulares toman el valor de cero y las distancias entre eslabones son los siguientes:

$$lx1 = 180\text{mm}$$

$$lx3 = 235.8\text{mm}$$

$$lz1 = 400\text{mm}$$

$$lx4 = 620\text{mm}$$

$$ly1 = 120\text{mm}$$

$$lx5 = 194.5\text{mm}$$

$$lx2 = 600\text{mm}$$

$$ly3 = -7.5\text{mm}$$

$$ly2 = -125\text{mm}$$

$$lx6 = 302.54\text{mm}$$

$$lz2 = 170\text{mm}$$

$$lz4 = -38.5\text{mm}$$

$A_7^0 \text{ Cuando } q_7^1 = 0$

$$A_7^0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & lx1 + lx2 + lx4 + lx6 \\ 0 & 0 & 1 & -ly3 \\ 0 & -1 & 0 & z1 + lz2 - lz4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (20)$$

Se obtiene la matriz homogénea que describe la cinemática desde la base del robot hasta el acople diseñado, en la ecuación 20 la última columna contiene las coordenadas x,y,z respectivamente.

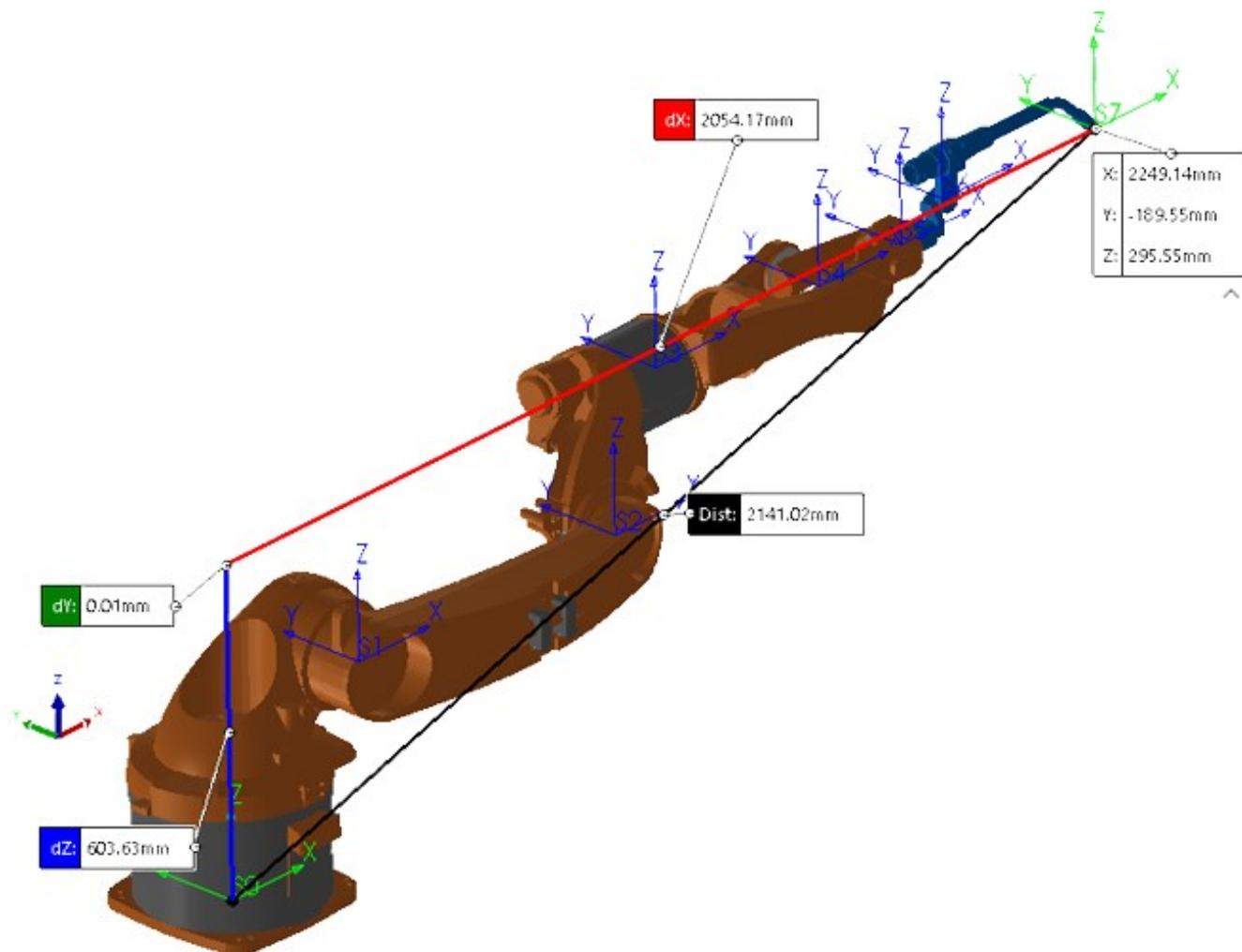
$$A_7^0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 2054,17 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 608,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (21)$$

Prueba cinemática directa en software

Cinemática directa en SolidWorks

En la figura 73 se ilustra las coordenadas x,y,z del robot cuando las variables articulares son cero, como se puede observar en esta figura se obtienen los mismos resultados de la ecuación 18 donde se evaluó las cinemática del robot con la misma configuración articular igual a cero verificando de esta manera la correcta obtención del modelo cinemático directo.

Figura 73: Robot KUKA KR5, variables articulares igual a cero

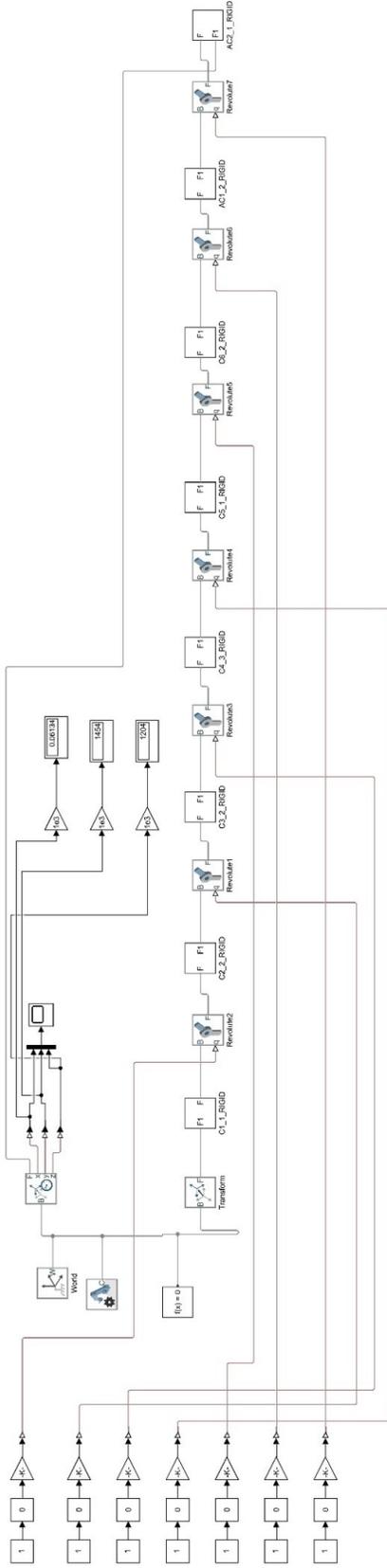


Fuente: Autor

Cinemática directa en SIMULINK

En la figura 74 se ingresa cada una de los eslabones del robot KUKA KR5 con cada configuración articular, según el algoritmo D-H, en este diagrama se censa la posición final del efector del robot correspondiente la punta de la pistola MIG, para llegar a este punto se realiza una translación según el eje cartesiano correspondiente a A_6^7 , véase el resultado den la Figura 75.

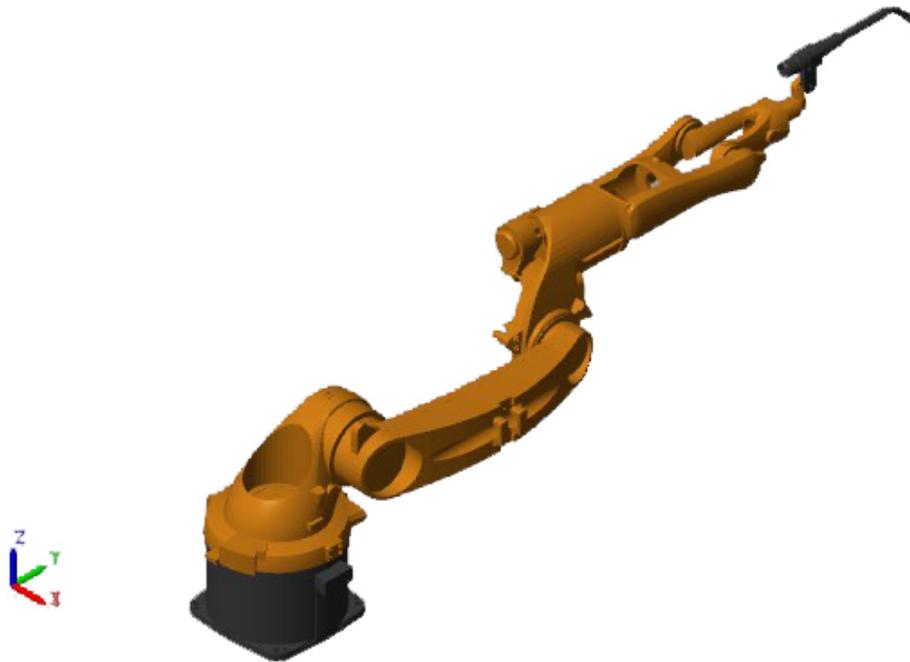
Figura 74: Diagrama de bloques de control simulink



Fuente: Auto

La figura 75 corresponde a la simulación de la cinemática directa implementada en SIMULINK modulo mecánico.

Figura 75: Implementación SIMULINK cuando todas las variables articulares son cero



Fuente: Autor

5.2.12. Matriz diferencial jacobiana de velocidades

En general la matriz Jacobiana de un robot, relaciona el vector de velocidades articulares (q_1, q_2, q_n) con otro vector de velocidades expresado en un espacio distinto. El método más directo para obtener la relación entre velocidades articulares y del extremo del robot consiste en diferenciar las ecuaciones correspondientes al modelo cinemático directo (Barrientos y col., 2007).

Figura 76: Matriz jacobiana analítica

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \\ \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \mathbf{J}_a \cdot \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \vdots \\ \dot{q}_n \end{bmatrix} \quad \text{con } \mathbf{J}_a = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_x}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial f_x}{\partial q_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_\psi}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial f_\psi}{\partial q_n} \end{bmatrix}$$

Fuente: Autor

En la ecuación 76 la matriz \mathbf{J}_a se denomina matriz Jacobiana analítica. Puesto que el valor numérico de cada uno de los elementos $[j_{pq}]$ de la Jacobiana dependerá de los valores de las coordenadas articulares q_i , el valor de la Jacobiana será diferente en cada uno de los puntos del espacio articular.

Matriz jacobiana del robot KUKA KR5 y el acople de soldadura MIG

Dado que la cinemática directa del robot comprendida en la ecuación 19 $x=a_{14}$, $y=a_{24}$, $z=a_{34}$ se aplica la diferenciación de las coordenadas cartesianas x,y,z sobre cada variable articular como se observa en la ecuación 22.

$$A_7^0 = \begin{pmatrix} j_{11} & j_{12} & j_{13} & j_{14} & j_{15} & j_{16} & j_{17} \\ j_{21} & j_{22} & j_{23} & j_{24} & j_{25} & j_{26} & j_{27} \\ j_{31} & j_{32} & j_{33} & j_{34} & j_{35} & j_{36} & j_{37} \end{pmatrix} \quad (22)$$

$$\begin{array}{lll} j_{11} = d\frac{x}{dq_1} & j_{21} = d\frac{y}{dq_1} & j_{31} = d\frac{z}{dq_1} \\ j_{12} = d\frac{x}{dq_2} & j_{22} = d\frac{y}{dq_2} & j_{32} = d\frac{z}{dq_2} \\ j_{13} = d\frac{x}{dq_3} & j_{23} = d\frac{y}{dq_3} & j_{33} = d\frac{z}{dq_3} \\ j_{14} = d\frac{x}{dq_4} & j_{24} = d\frac{y}{dq_4} & j_{34} = d\frac{z}{dq_4} \\ j_{15} = d\frac{x}{dq_5} & j_{25} = d\frac{y}{dq_5} & j_{35} = d\frac{z}{dq_5} \\ j_{16} = d\frac{x}{dq_6} & j_{26} = d\frac{y}{dq_6} & j_{36} = d\frac{z}{dq_6} \\ j_{17} = d\frac{x}{dq_7} & j_{27} = d\frac{y}{dq_7} & j_{37} = d\frac{z}{dq_7} \end{array}$$

Conjunto de componentes de la matriz Jacobiana. En la anterior sección se detalla todas las componentes para completar la matriz jacobiana del modelo cinemático del robot KUKA KR5 y el acople de soldadura MIG.

Nota: Revisar en Anexo 4: Análisis de la matriz Jacobiana en matlab

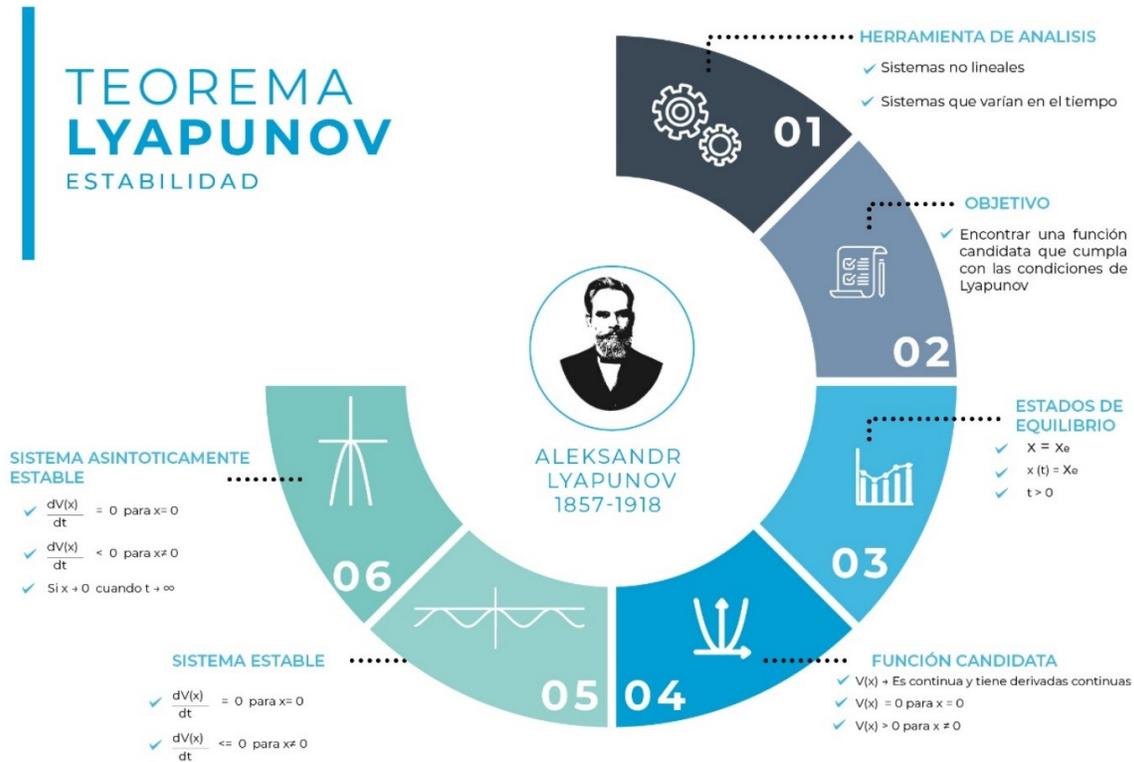
5.2.13. Modelo de control

Teorema de control

Las ecuaciones matriciales de Lyapunov y similares a Lyapunov aparecen en muchas perspectivas matemáticas y de ingeniería diferentes, como la teoría de control, la teoría de sistemas, la optimización, los sistemas de potencia, el procesamiento de señales, el álgebra lineal, las ecuaciones diferenciales, los problemas de valores en la frontera, la flexión de grandes espacios. estructuras flexibles y comunicaciones (Gajic y Qureshi, 2008a).

La ecuación de Lyapunov se encuentra no solo en el estudio de la estabilidad de los sistemas lineales, sino también en otros campos. En matemáticas, las ecuaciones tipo Lyapunov fueron objeto de investigación desde principios de este siglo. La medida cuadrática del desempeño de un sistema de retroalimentación lineal se da en términos de la solución de la ecuación de Lyapunov. Para sistemas lineales estocásticos impulsados por ruido blanco, la solución de la ecuación de Lyapunov representa la varianza del vector de estado. Muchos otros problemas de teoría de sistemas y control se basan en las ecuaciones de Lyapunov y/o similares a Lyapunov, tales como: conceptos de controlabilidad y observabilidad gramianas, transformación de equilibrio, estabilidad, robustez a parámetros (Yedavalli, 1985), modelado y control de orden reducido (Gajic y Qureshi, 2008b).

Figura 77: Teorema LYAPUNOV de estabilidad



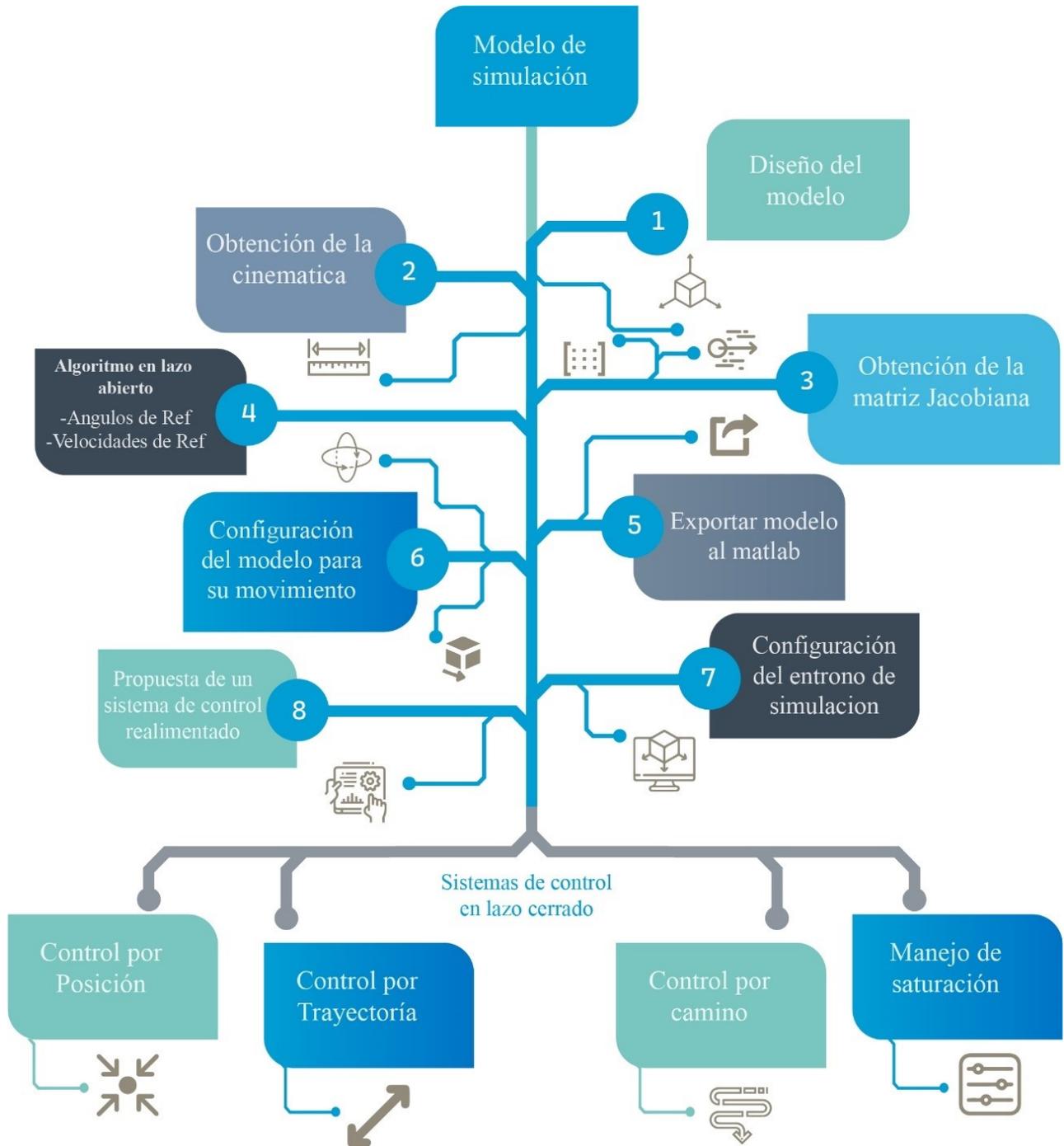
Fuente: Autor

En la figura 77 se define 6 pasos para determinar la estabilidad mediante Lyapunov inicialmente se debe encontrar una función candidata que cumpla con la continuidad de su derivada y según el punto 5 o 6 se puede determinar si la función es estable o asintóticamente estable en este caso se procura que el sistema sea asintóticamente estable.

Proceso para el control

La figura 78 muestra ocho etapas antes de desarrollar el control del robot, inicialmente se obtiene el modelo 3D y cada una de sus medidas, posterior a esto se analiza la cinemática directa, tal como se desarrolló anteriormente de modo que este modelo se lo carga a Matlab se configura el entorno de simulación con el fin de desarrollar el movimiento al robot y finalmente se aplica la diferenciación al modelo obtenido para así obtener las velocidades del extremo del robot permitiendo así proponer tres modelos de control.

Figura 78: Fases para el desarrollo del control



Fuente: Autor

Trayectorias según el tipo de control

Para el control de movimiento del robot, se define tres sistemas de control (véase figura 79), el primero consiste en posicionar al robot en un punto específico, cuando el robot puede encontrarse en cualquier posición e intentar llegar al punto deseado, para el segundo sistema el robot tendrá que seguir cierta función parametrizada y de igual manera podrá iniciar desde cualquier posición e intentar seguir dicha trayectoria, tanto como para el primer y segundo la velocidad del robot estará definida por la posición. Por el contrario, para el manejo de una trayectoria de soldadura se debe poder controlar la velocidad de avance, de este modo se planteará el control por camino no sin antes evaluar cada uno de los sistemas de control propuestos.

Figura 79: Posición inicial para el desarrollo del control



Fuente: Autor

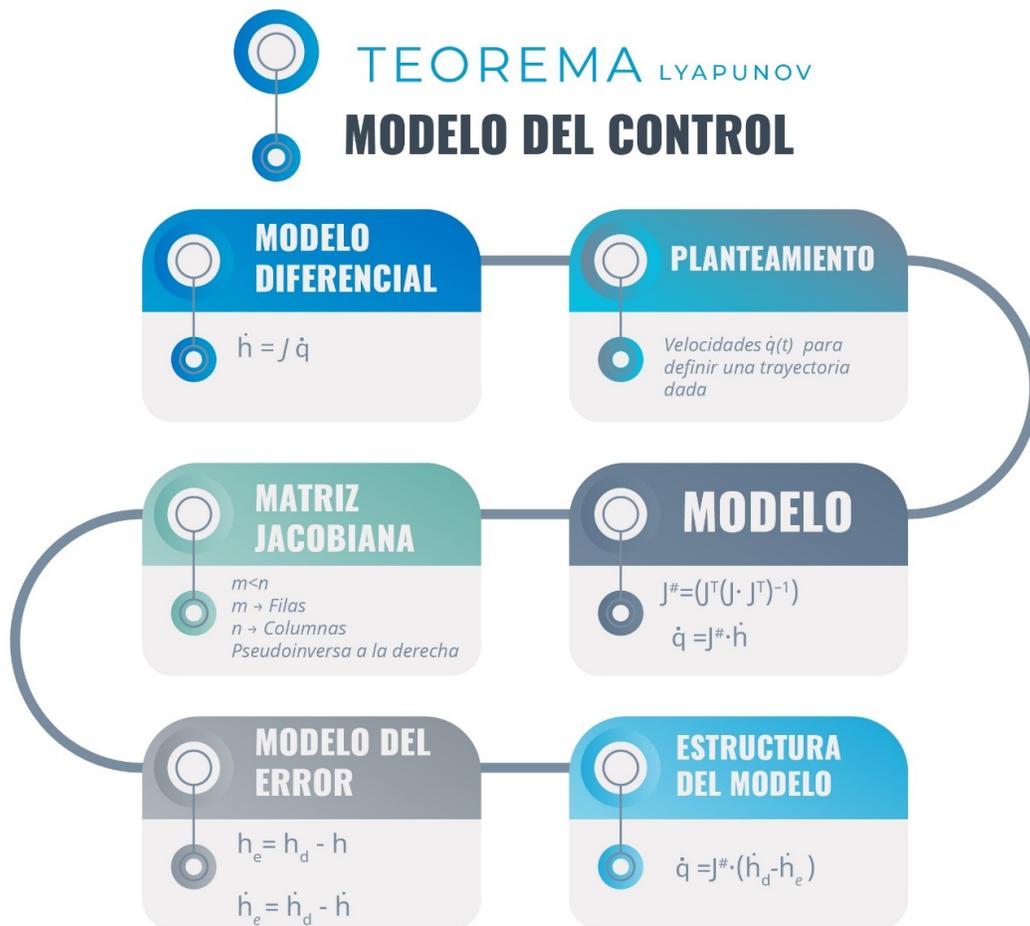
Fases del modelo de control

Inicialmente se desarrolló el modelo cinemático del robot que permitió relacionar las variables articulares y la posición final del robot en coordenadas cartesianas X,Y,Z a partir de esta matriz de posición final se calcula la matriz Jacobiana del modelo cinemático que

consiste en la diferenciación parcial de cada una de las funciones definidas en las coordenadas X,Y,Z respecto a cada variable articular, consiguiendo así conocer las velocidades de extremo del robot.

En la Figura 80 se muestra el modelo diferencial definido como la velocidad en coordenadas cartesianas es igual al productos de la matriz Jacobiana y las posiciones articulares q. Puesto que el objetivo para el control es conocer la velocidades o posiciones de las variables articulares se despeja con el fin de tener las velocidades articulares respecto al producto de las posiciones cartesianas y la inversa de la matriz Jacobiana, después de esto es importante mencionar que la obtención de la matriz inversa se considera el numero de filas y numero de columnas por este motivo se aplica Pseudo inversa a la derecha de la jacobiana, ya que existe mayor número de variables articulares.

Figura 80: Modelo de control y ecuación de movimiento



Fuente: Autor

Especificación de trayectorias deseadas

La figura 81 detalla las especificaciones de la h deseado para la implementación del control. La velocidad para el control de posición será cero ya que al ser h un punto deseado su derivada corresponde a cero, para el control por trayectoria su velocidad está definida según su trayectoria y para el control por camino su velocidad es controlada.

Figura 81: Consideraciones según la trayectoria



Fuente: Autor

Análisis de estabilidad - Lyapunov

Para el estudio de estabilidad del modelo del robot se considera la ecuación modelo de la Figura 80, $\dot{q} = J^\# * (\dot{h}_d - \dot{h}_e)$, donde:

$J^\# = \text{Corresponde a la pseudo inversa de la matriz Jacobiana}$

Cuando la posición deseada es un punto $\dot{h}_d = 0$

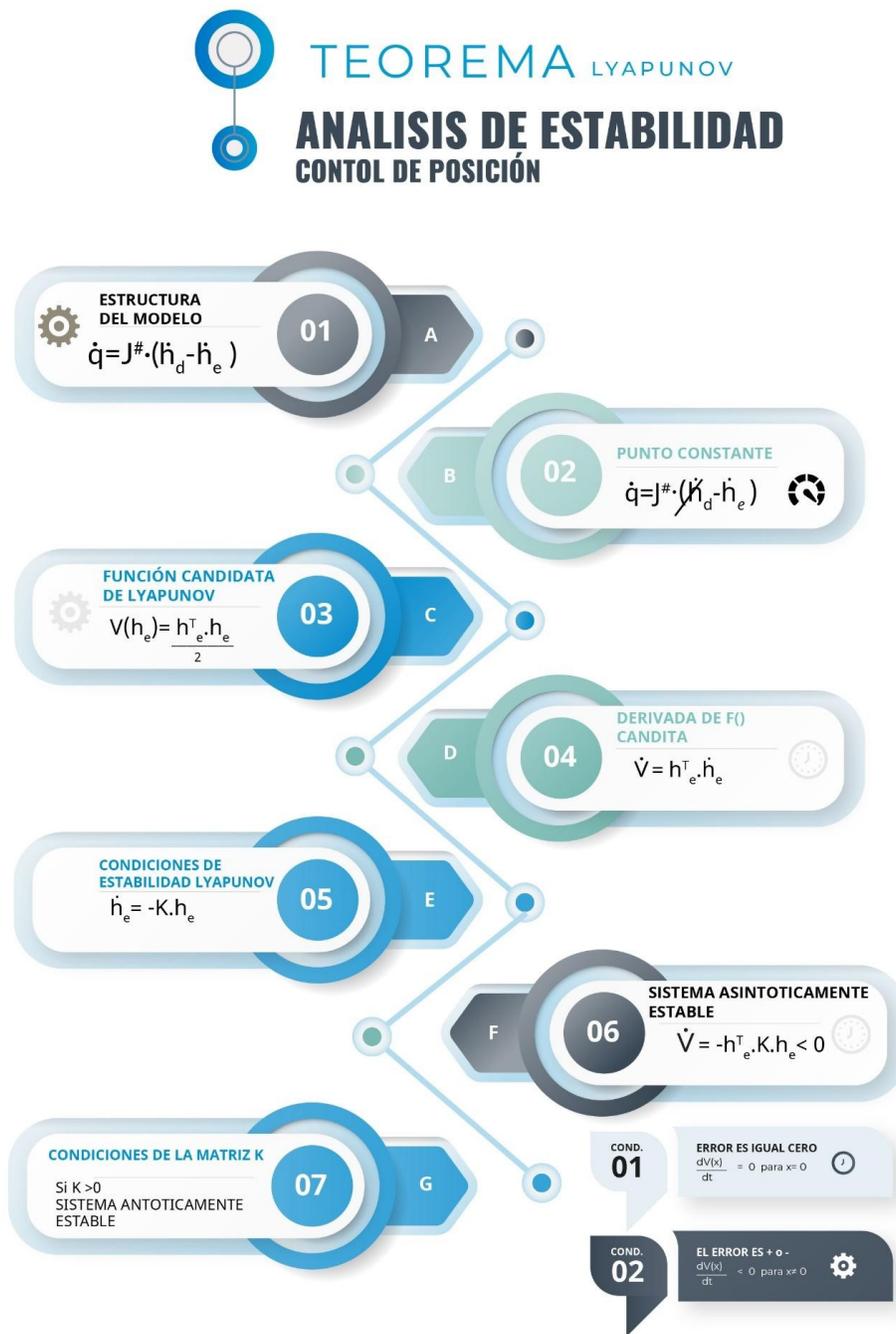
Cuando la trayectoria deseada es una curva $\dot{h}_d =$ Derivada de la curva

Cuando la trayectoria deseada es una un conjunto de puntos $\dot{h}_d =$ Velocidad deseada

A partir de la Figura 77 Sección 3 Teorema de Lyapunov de Estabilidad, se realiza el estudio de estabilidad proponiendo una función candidata como se observa en la Figura 82, que viene dada como el producto cuadrático del error para así poder cumplir con las especificaciones del modelo de estabilidad de Lyapunov. A la función candidata se la deriva con el fin de identificar si cumple con las especificaciones de estabilidad, es importante mencionar que de no cumplir con las especificaciones de estabilidad se deberá proponer o modificar la función candidata siempre y cuando se cumplan las condiciones de estabilidad. Finalmente, se evalúa la estabilidad para la función de la Figura 82 Sección 6 y se determina que cumple la estabilidad de Lyapunov.

Nota: Revisar en Anexo 4: Análisis de control mediante Lyapunov en Matlab

Figura 82: Análisis de estabilidad de la función candidata para el control de posición

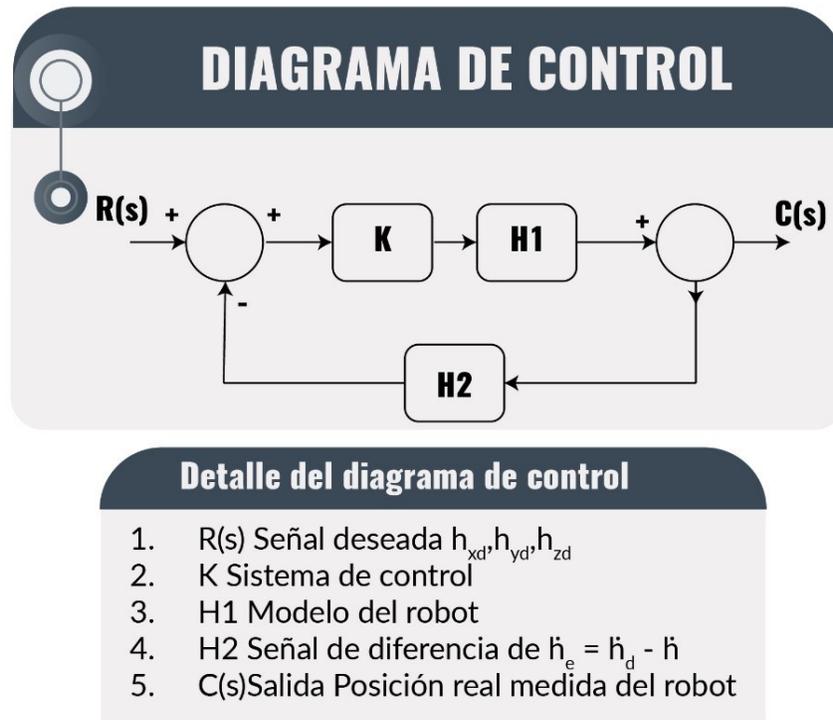


Fuente: Autor

Diagrama de control

Para el desarrollo de control en lazo cerrado se deberá identificar el comportamiento del modelo del robot inicial y la trayectoria deseada, así como la señal de error que ingrese al modelo como se muestra en la Figura 83 diagrama del modelo.

Figura 83: Diagrama de control



Fuente: Autor

5.2.14. Análisis y desarrollo de los modelos de control

Implementación del modelo de control de posición en matlab

La figura 70 muestra 8 pasos para la implementación del modelo de control en MATLAB.

- Primeramente, se deberá establecer el tiempo de ejecución, los parámetros del robot y las condiciones iniciales de las articulaciones. En cuanto al tiempo de ejecución definirá tanto la simulación del modelo, como el tiempo de solución para el modelo de control por posición,

es por eso importante mencionar que de encontrarse el robot en una posición inicial lejana al punto deseado el tiempo que le tomara al robot va a aumentar ya que requerirá mayor movimiento en sus articulaciones para alcanzar el punto deseado.

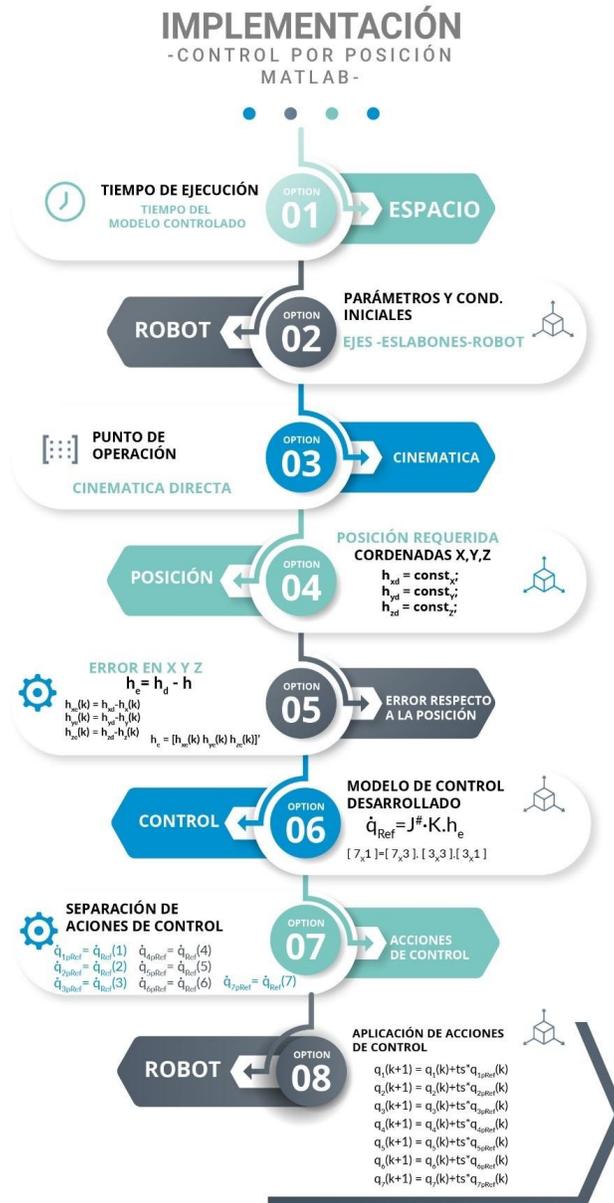
- Como segundo aspecto para la implementación es la configuración de las partes del robot modeladas en 3D, así también definir las distancias entre cada uno de los ejes que se conecta a cada uno de los eslabones. La librería STL FILE READ, permite la lectura del modelo 3D del robot en MATLAB.

- Seguidamente se establece el punto de operación para el robot que va a estar definido por la cinemática directa del robot en un instante de tiempo inicial.

- Posterior a esto se establece la posición deseada, comprendida en un punto específico en el espacio con coordenadas X,Y,Z.

- De modo que inicia el controlador en un bucle donde se determina el error que corresponde a la diferencia de la posición inicial del robot y la posición deseada seguidamente se calcula la matriz jacobiana con respecto a cada una de las variables articulares del robot, ahora se establece un factor de ganancia para así finalmente desarrollar el modelo de control y establecer las posiciones articulares que debe aplicarse al robot para que alcance la posición deseada. Cada una de las posiciones articulares se las almacena y posterior esto se realiza la simulación al robot aplicando todas las posiciones articulares generadas anteriormente.

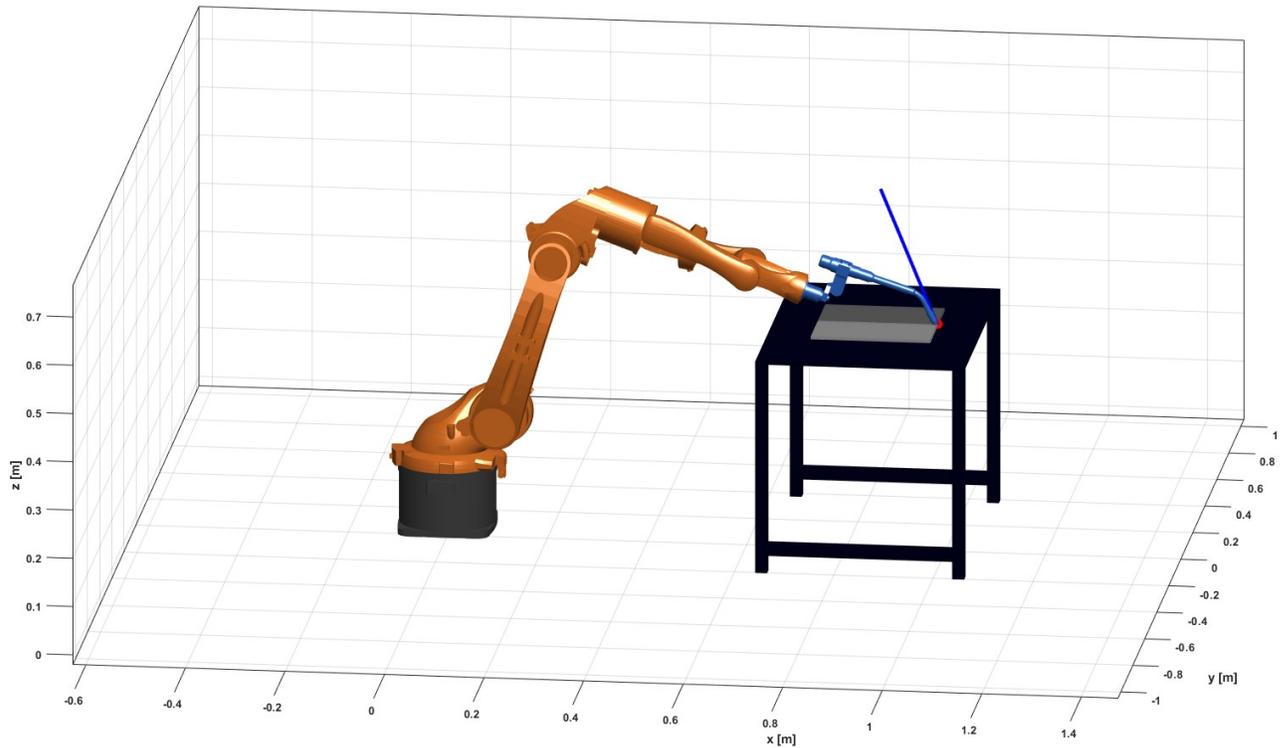
Figura 84: Ingreso del algoritmo de control de posición en Matlab



Fuente: Autor

Simulación del modelo de control por posición en matlab

Figura 85: Posicionamiento del Robot KUKA KR5 en un punto deseado



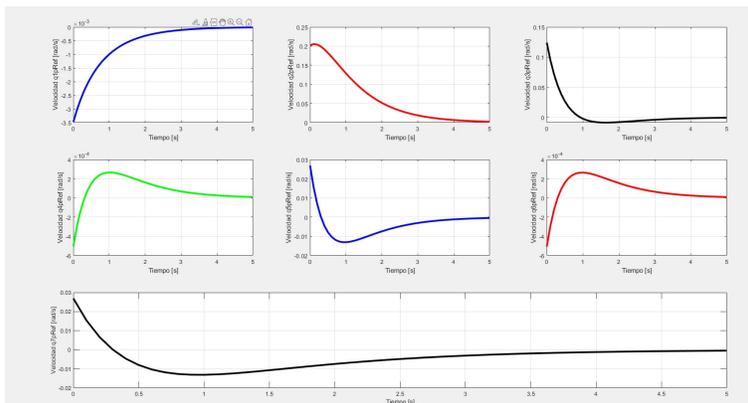
Fuente: Autor

La figura 85 muestra como el robot KUKA KR5 ha alcanzado a llegar al punto deseado que para este caso el punto deseado está situado en la parte superior a las dos placas colocadas en la mesa de trabajo. El robot al empezar el proceso de posicionamiento comenzó con las posiciones iniciales de $q_2 = -90^\circ$ y $q_3 = 90^\circ$, posición inicial que se detalló anteriormente.

Velocidades para el control por posición

En la Figura 86 se representa las velocidades angulares de cada una de las articulaciones del robot respecto al tiempo de simulación, se observa la solución del control de posición con las condiciones iniciales del robot producen que el robot tenga velocidades mínimas para alcanzar la posición deseada.

Figura 86: Velocidades angulares de las articulaciones

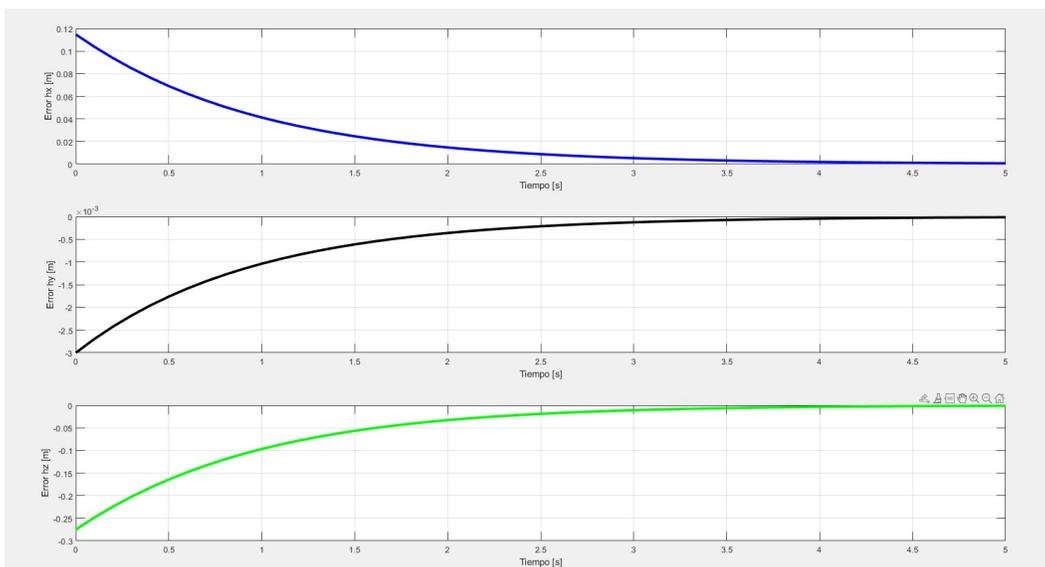


Fuente: Autor

Errores para el control de posición

La Figura 87 Muestra los errores del modelo de control de posición en cuanto a la solución desarrollada se observa que en los tres ejes cartesianos X,Y,Z se alcanza el error de cero indicando así que el robot se encuentra en la posición deseada.

Figura 87: Errores del modelo de control respecto a sus ejes cartesianos



Fuente: Autor

Implementación del modelo de control de trayectoria en Matlab

La figura 88 muestra 8 pasos para la implementación del modelo de control por trayectoria en MATLAB.

- A igual que el modelo por posición inicialmente, se deberá establecer el tiempo de ejecución, los parámetros del robot y las condiciones iniciales de las articulaciones. En cuanto al tiempo de ejecución definirá tanto la simulación del modelo, como el tiempo de solución para el modelo de control por posición, es por eso importante mencionar que de encontrarse el robot en una posición inicial lejana al punto deseado el tiempo que le tomara al robot va a aumentar ya que requerirá mayor movimiento en sus articulaciones para alcanzar el punto deseado.

- Como segundo aspecto para la implementación es la configuración de las partes del robot modeladas en 3D, así también definir las distancias entre cada uno de los ejes que se conecta a cada uno de los eslabones. La librería STL FILE READ, permite la lectura del modelo 3D del robot en MATLAB.

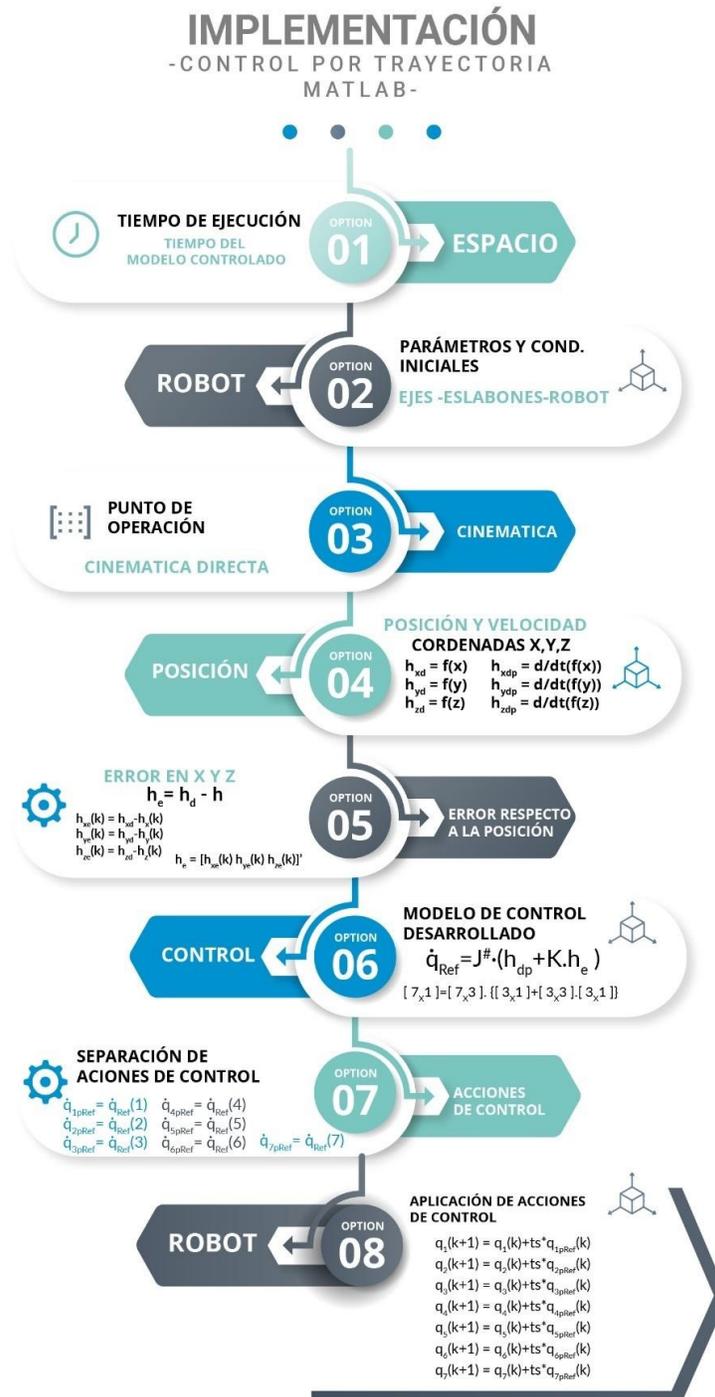
- Seguidamente se establece el punto de operación para el robot que va a estar definido por la cinemática directa del robot en un instante de tiempo inicial.

- Posterior a esto se establece la posición deseada y la velocidad se calcula a partir de la derivada de la posición deseada, para el control por trayectoria se definió la siguiente función como trayectoria desea y velocidades calculadas:

- $hxd = -0.24t + 0.984$
- $hyd = 0.0015$
- $hzd = 0.42$
- $hxdp = 0.24$
- $hydp = 0$
- $hzdp = 0$

- De modo que inicia el controlador en un bucle donde se determina el error que corresponde a la diferencia de la posición inicial del robot y la trayectoria deseada seguidamente se calcula la matriz jacobiana con respecto a cada una de las variables articulares del robot, ahora se establece un factor de ganancia para así finalmente desarrollar el modelo de control y establecer las posiciones articulares que debe aplicarse al robot para que alcance la posición deseada. Cada una de las posiciones articulares se las almacena y posterior esto se realiza la simulación al robot aplicando todas las posiciones articulares generadas anteriormente.

Figura 88: Ingreso del algoritmo de control de posición en Matlab

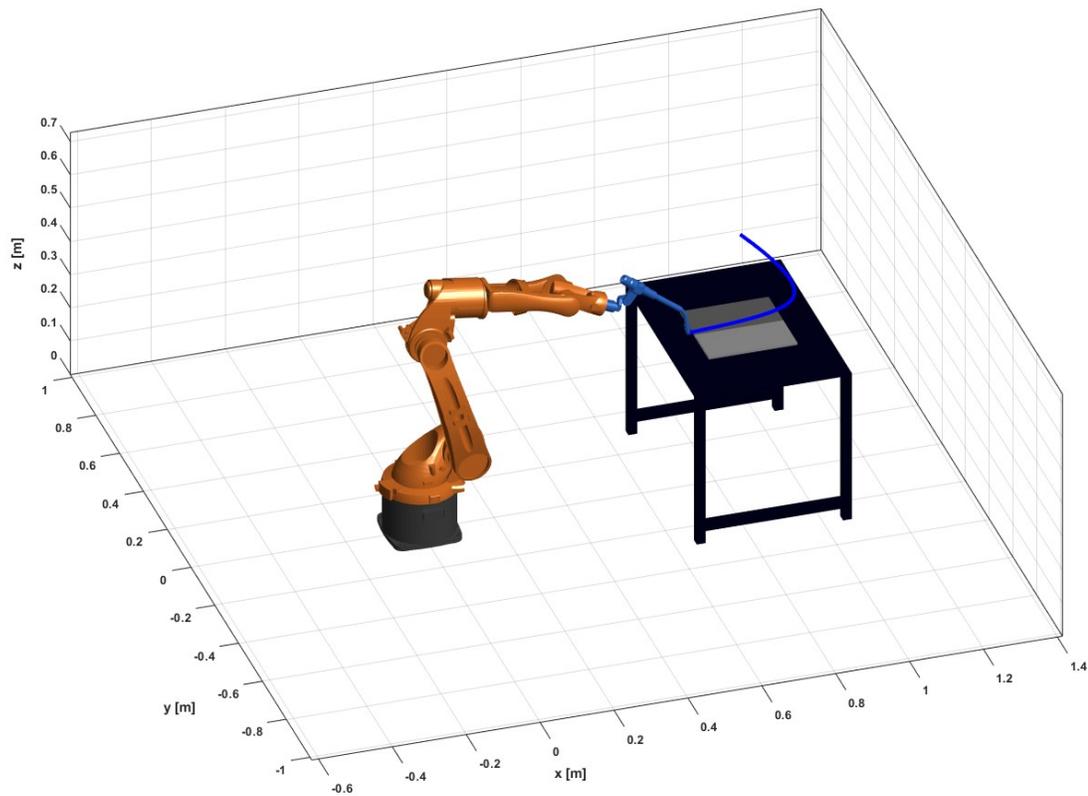


Fuente: Autor

Simulación del modelo de control por trayectoria en Matlab

La figura 89 muestra como el robot KUKA KR5 ha alcanzado a realizar la trayectoria deseada para este caso la trayectoria deseada comprende una recta definida desde lo superior a las dos placas hasta lo inferior de las dos placas colocadas en la mesa de trabajo. El robot al empezar el proceso de trayectoria comenzó con las posiciones iniciales de $q_2 = -90^\circ$ y $q_3 = 90^\circ$, posición inicial que se detalló anteriormente.

Figura 89: Trayectoria del Robot KUKA KR5

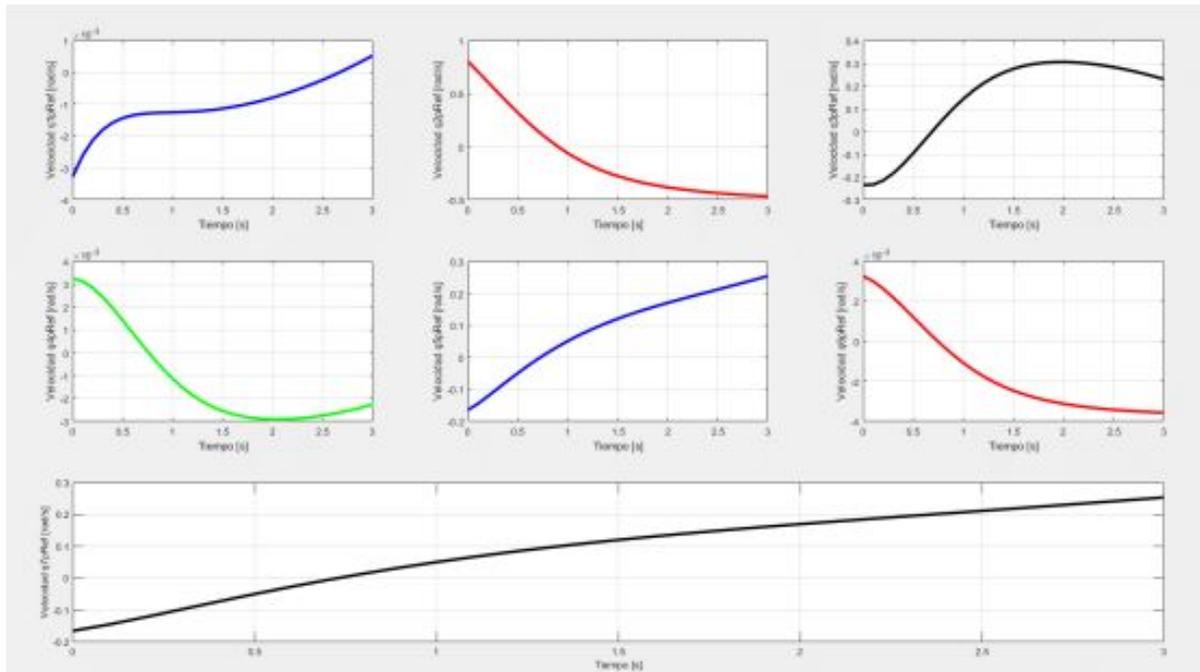


Fuente: Autor

Velocidades para el control por trayectoria

En la Figura 90 se representa las velocidades angulares de cada una de las articulaciones del robot respecto al tiempo de simulación, se observa la solución del control de trayectoria con las condiciones iniciales del robot producen que el robot tenga velocidades mínimas para alcanzar la posición deseada.

Figura 90: Velocidades angulares de las articulaciones

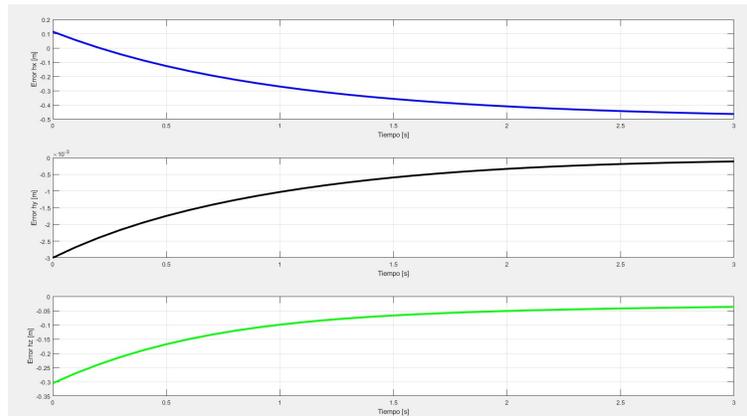


Fuente: Autor

Errores para el control de trayectoria

La Figura 91 Muestra los errores del modelo de control de trayectoria en cuanto a la solución desarrollada se observa que en los tres ejes cartesianos X,Y,Z se alcanza casi el cero indicando así que el robot a podido realizar la trayectoria sin embargo al ser la velocidad dependiente de la trayectoria el robot tiende a tener mayor error por la velocidad a la que se desplaza posteriormente se solucionará este inconveniente con el control por camino.

Figura 91: Errores del modelo de control respecto a sus ejes cartesianos



Fuente: Autor

Implementación del modelo de control por camino en Matlab

La figura 92 muestra 8 pasos para la implementación del modelo de control por trayectoria en MATLAB.

- A igual que el modelo por trayectoria inicialmente, se deberá establecer el tiempo de ejecución, los parámetros del robot y las condiciones iniciales de las articulaciones. En cuanto al tiempo de ejecución definirá tanto la simulación del modelo, como el tiempo de solución para el modelo de control por posición, es por eso importante mencionar que de encontrarse el robot en una posición inicial lejana al punto deseado el tiempo que le tomara al robot va a aumentar ya que requerirá mayor movimiento en sus articulaciones para alcanzar el punto deseado.

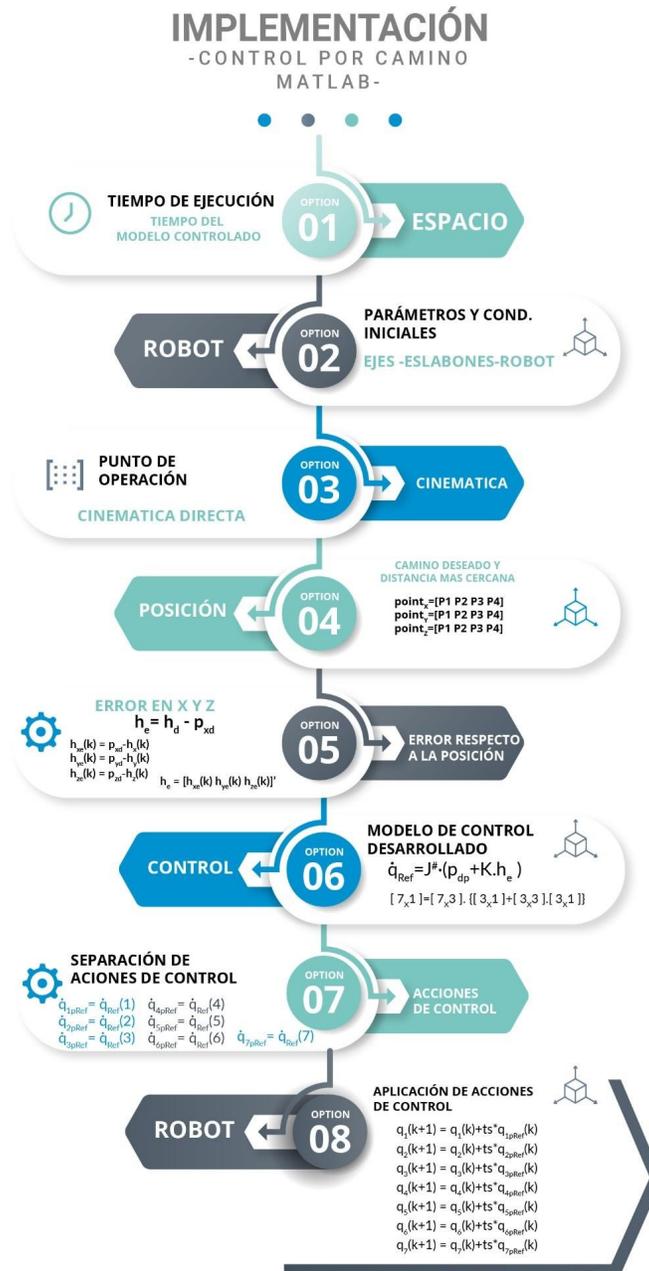
- Como segundo aspecto para la implementación es la configuración de las partes del robot modeladas en 3D, así también definir las distancias entre cada uno de los ejes que se conecta a cada uno de los eslabones. La librería STL FILE READ, permite la lectura del modelo 3D del robot en MATLAB.

- Seguidamente se establece el punto de operación para el robot que va a estar definido por la cinemática directa del robot en un instante de tiempo inicial.

- Posterior a esto se establece el camino deseado y los ángulos que permitan determinar la distancia más corta entre un punto del camino deseado y el robot.

- De modo que inicia el controlador en un bucle donde se determina el error que corresponde a la diferencia de la posición inicial del robot y la posición de cada punto del camino deseado seguidamente se calcula la matriz jacobiana con respecto a cada una de las variables articulares del robot, ahora se establece un factor de ganancia para así finalmente desarrollar el modelo de control y establecer las posiciones articulares que debe aplicarse al robot para que alcance la posición deseada. Cada una de las posiciones articulares se las almacena y posterior esto se realiza la simulación al robot aplicando todas las posiciones articulares generadas anteriormente.

Figura 92: Ingreso de algoritmo de control por camino en Matlab

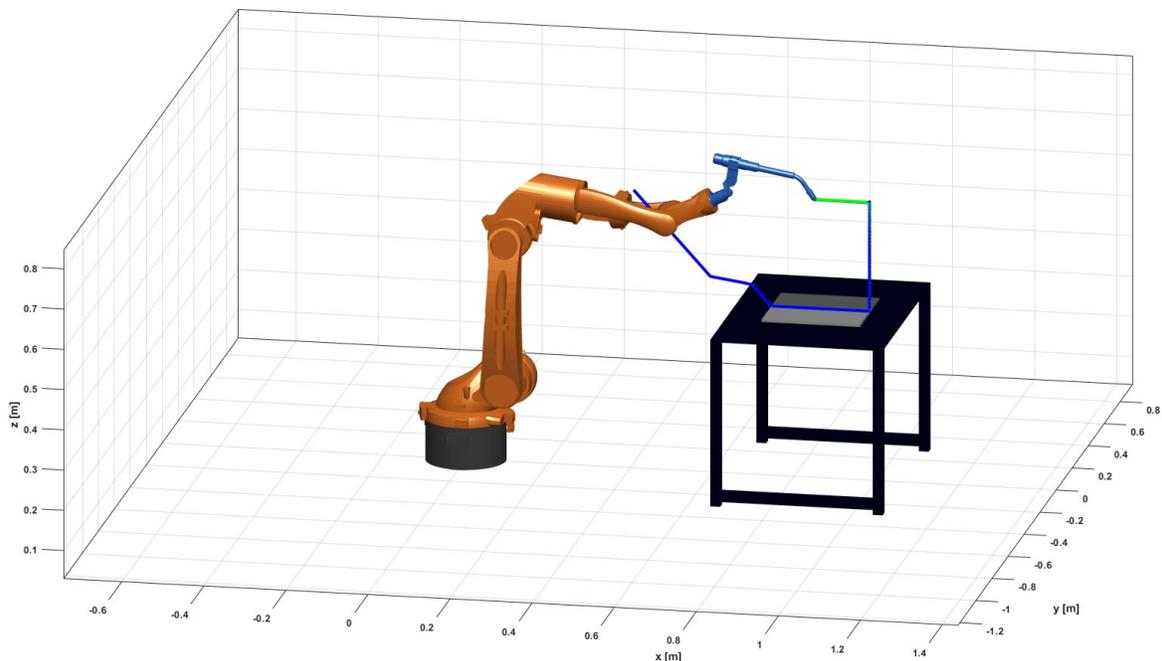


Fuente: Autor

Simulación del modelo de control por camino en Matlab

La figura 93 muestra como el robot KUKA KR5 ha alcanzado a realizar el camino deseada para este caso la camino deseado comprende el acercamiento a la área de trabajo el proceso de soldadura de dos placas desde lo inferior hasta lo superior de las dos placas colocadas en la mesa de trabajo, finalmente el robot se retira del área de soldadura desplazándose en el eje Z. El robot al empezar el proceso de camino comenzó con las posiciones iniciales de $q_2 = -90^\circ$ y $q_3 = 90^\circ$, posición inicial que se detalló anteriormente.

Figura 93: Trayectoria del robot KUKA KR5

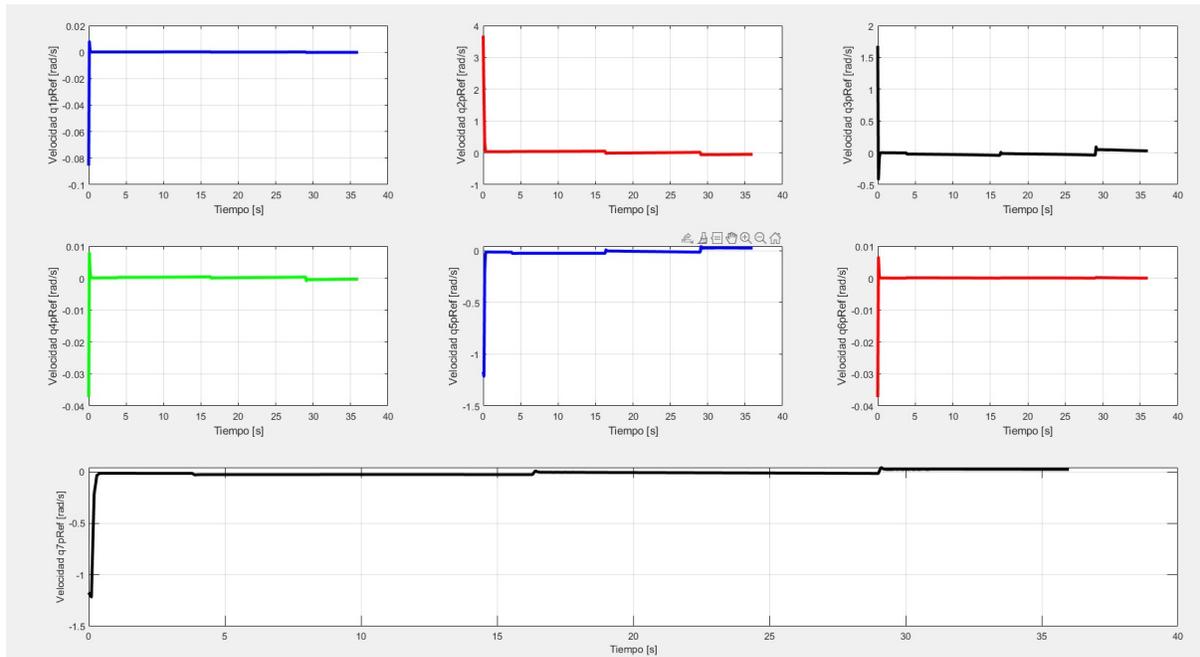


Fuente: Autor

Velocidades para el control por camino

En la Figura 94 se representa las velocidades angulares de cada una de las articulaciones del robot respecto al tiempo de simulación, se observa que la solución del control por camino con las condiciones iniciales del robot producen que el robot tenga velocidades mínimas para cubrir desarrollar el proceso de soldadura MIG según las necesidades de soldadura.

Figura 94: Velocidades angulares de las articulaciones

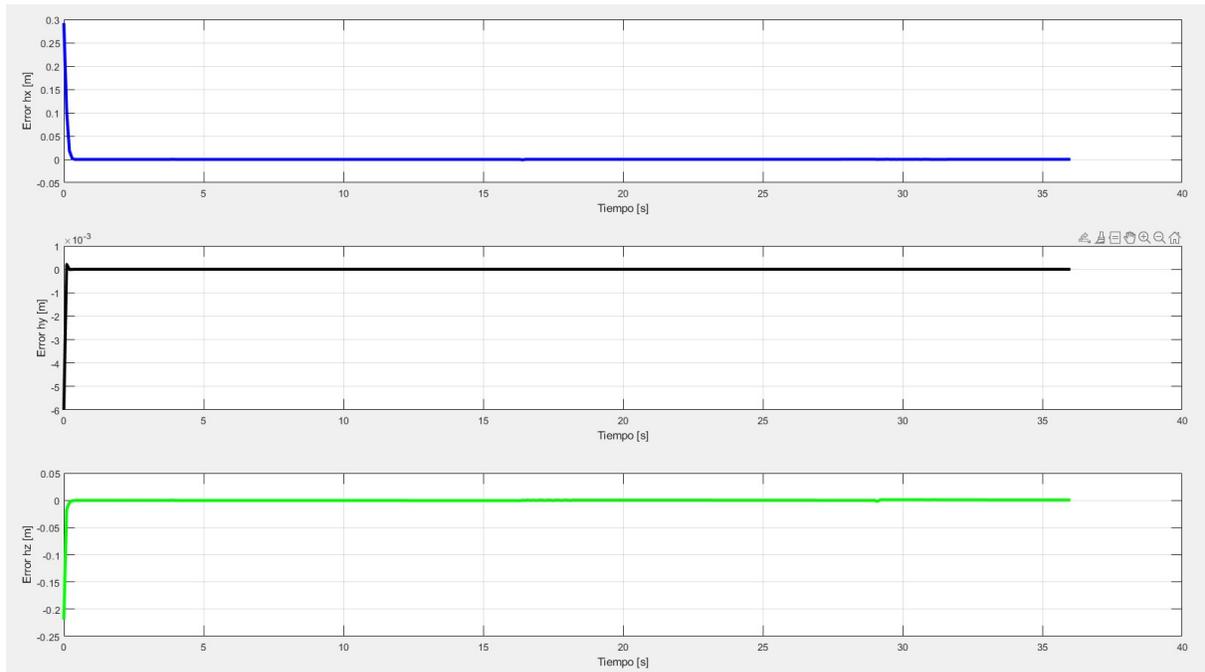


Fuente: Autor

Errores para el control de camino

La Figura 95 Muestra los errores del modelo de control por camino en cuanto a la solución desarrollada se observa que en los tres ejes cartesianos X,Y,Z se alcanza el cero indicando así que el robot ha podido realizar todo el camino sin ninguna particularidad, es importante mencionar que ya que la velocidad es independiente del camino a realizar este puede ser controlado para que el robot realice el proceso a mayor o menor velocidad según sea necesario.

Figura 95: Errores del modelo de control respecto a sus ejes cartesianos

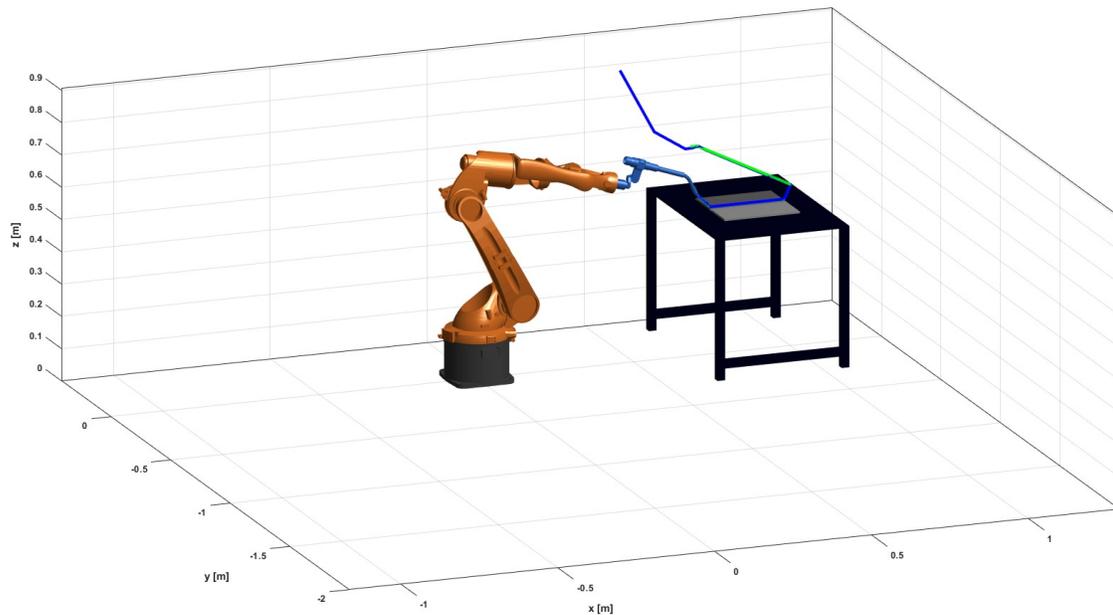


Fuente: Autor

5.2.15. Trayectoria de soldadura simulada

En la figura 96 se muestra el resultado final de la simulación de un proceso de soldadura MIG en soldadura a tope sobre dos placas de metal. Para este proceso se tuvo unas pocas consideraciones respecto la distancia del robot articular KUKA KR5 con la mesa de trabajo para soldadura, la maquina de soldar MIG no se aprecia en la simulación pero se sobre entiende que se encuentra conectado a una fuente segura que suministra y protege al equipo. No se considera necesario que aparezca el equipo completo de la soldadura puesto que no realizarían movimiento alguno únicamente el robot KUKA KR5 es el que realizaría el movimiento.

Figura 96: Trayectoria de soldadura simulada

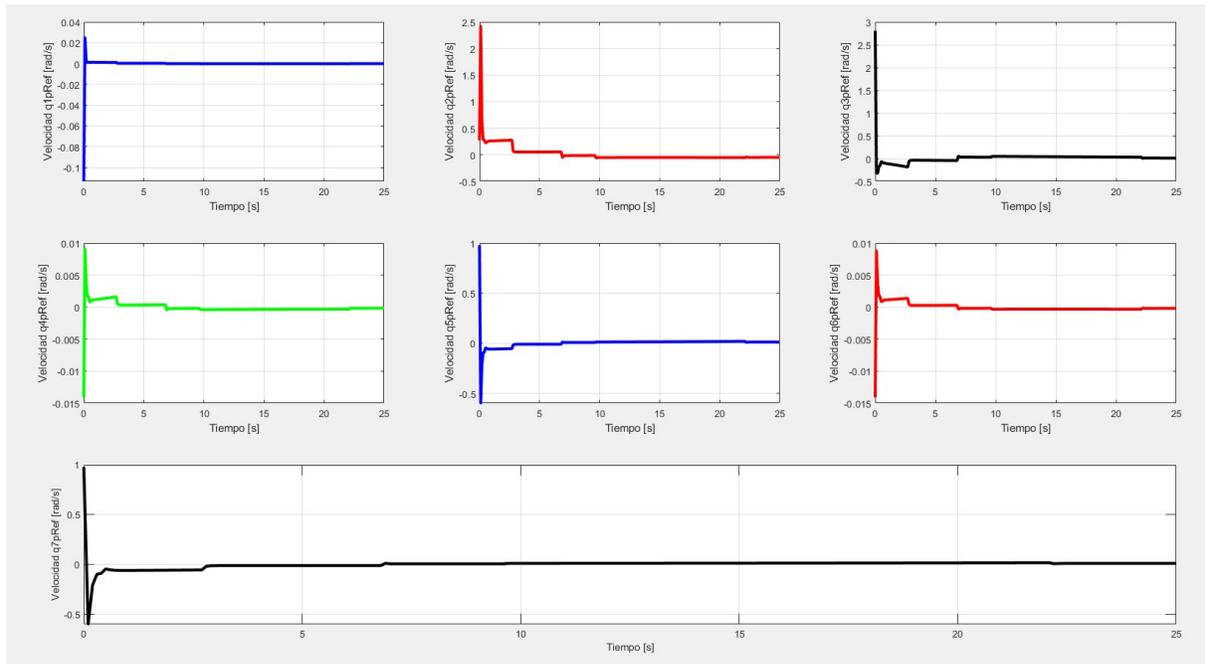


Fuente: Autor

Velocidades articulares del robot al desarrollar la trayectoria de soldadura MIG

En la figura 97 se muestran las velocidades de las articulaciones del robot KUKA al realizar el proceso de soldadura MIG. Mediante las gráficas, se puede observar que el robot KUKA se le programa las coordenadas de posición y se adapta con facilidad el tipo de velocidad de avance necesario para una buena soldadura MIG ya que al incrementar la velocidad de avance se disminuye la fusión del metal, si se mantiene una velocidad de avance constante se obtendrá una fusión de metal sólida sin perjudicar las propiedades del metal.

Figura 97: Velocidades articulares en la trayectoria del proceso de soldadura MIG

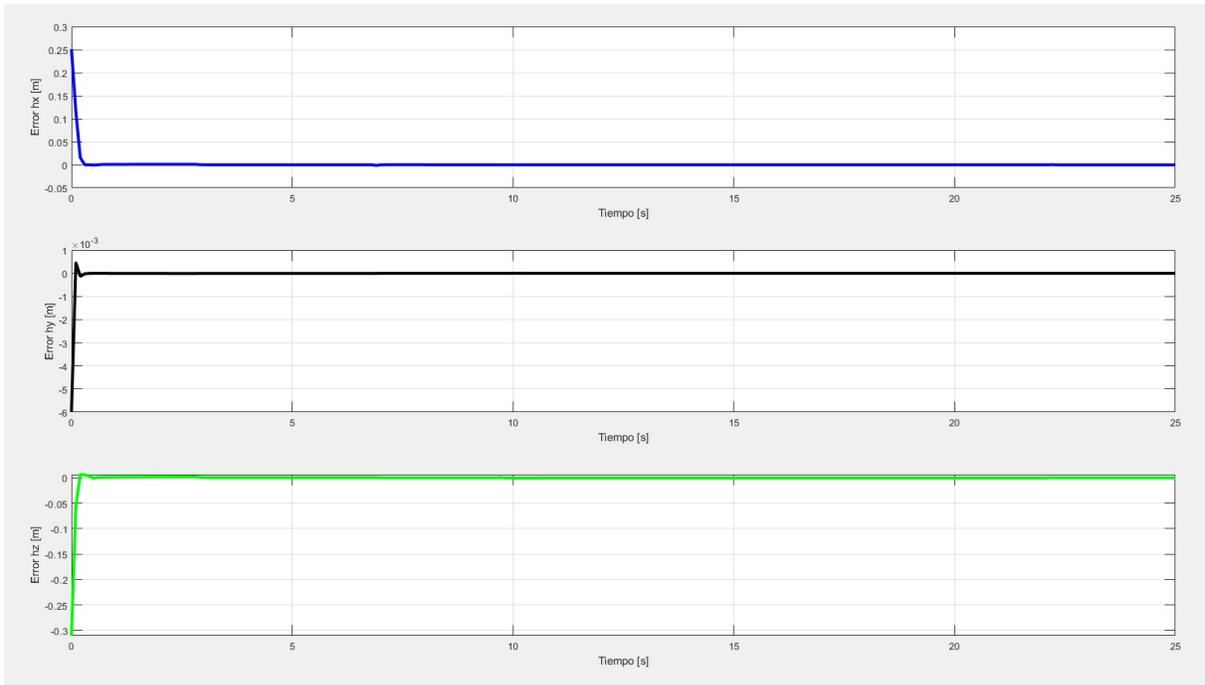


Fuente: Autor

Errores respecto a los ejes cartesianos al desarrollar la trayectoria de soldadura MIG

En esta sección, se puede observar los resultados de mantener la velocidad de avance en un proceso de soldadura MIG. En la figura 98 se visualiza que los errores respecto a los ejes se acercan o tienden a cero, lo cual explicaría que sus errores no son fácilmente visibles.

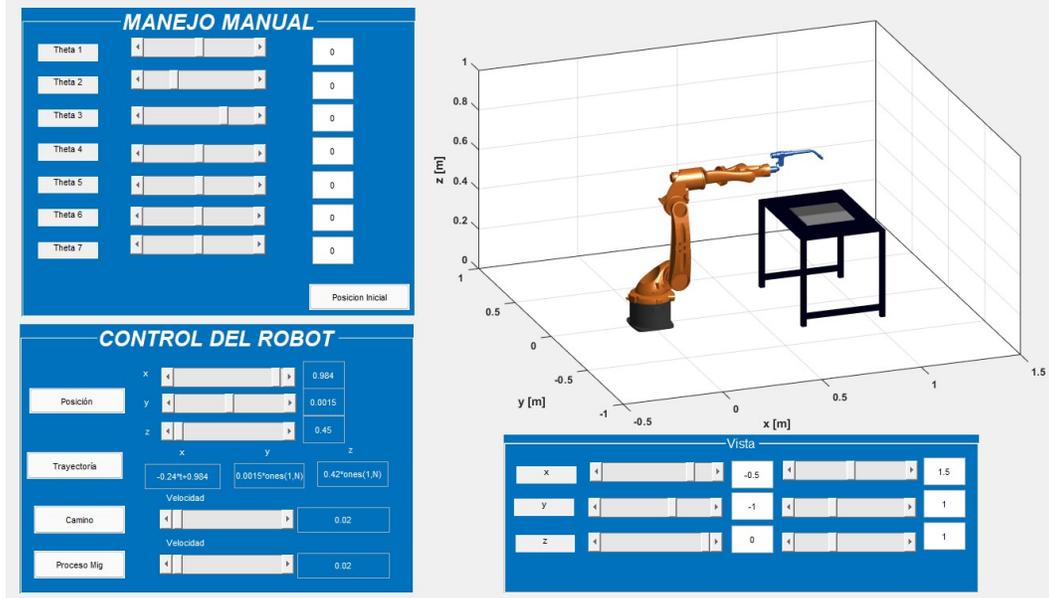
Figura 98: Errores respecto los ejes cartesianos de la simulación



Fuente: Autor

5.2.16. Desarrollo de interfaz de control

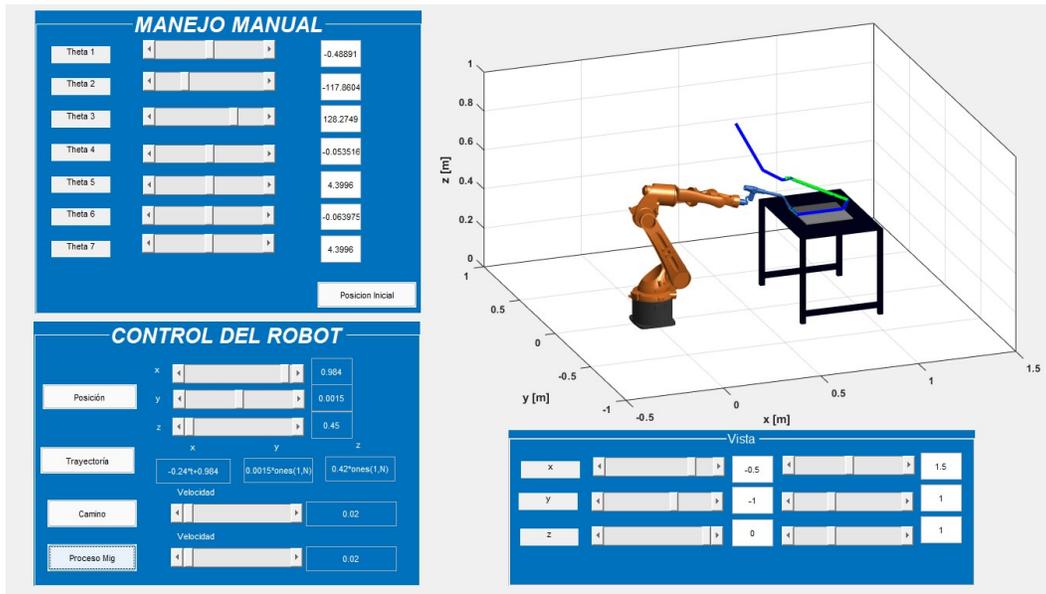
Figura 99: Interfaz para el control del robot KUKA KR5



Fuente: Autor

En la figura 99 se muestra el control del robot KUKA KR5, en el primer panel correspondiente al manejo manual existen 7 sliders que permiten la variación de cada articulación del robot, de la misma manera en control del robot se puede simular el control posición por trayectoria y control por camino que define el proceso de soldadura MIG como se muestra en la Figura 100. Nota: Revisar en Anexo 5: El entorno de simulación desarrollado en MATLAB

Figura 100: Interfaz de control, desarrollo de una trayectoria de soldadura



Fuente: Autor

5.3. Análisis de ventajas y desventajas del diseño propuesto con un modelo del mercado

Para este análisis de comparación usaremos el acople que ofrece SKS "Welding Systems.^{en} su paquete modular de soldadura Power Joint. Véase la Figura 101 se muestra el acople antes mencionado.

5.3.1. Power Joint

Figura 101: Sistema de antorcha Power Joint



Fuente: systems, 2016

Una sola articulación con libertad ilimitada de rotación, transmite la energía eléctrica y el gas, aire e hielo. Esto reduce el movimiento del cable de la antorcha (sin torsión) y por lo tanto aumenta la vida útil del cable de la antorcha. La falta de re orientaciones también ahorra tiempo debido a que la antorcha llega a todas las posiciones por el camino.

Tabla 13: Ventajas y desventajas del modelo disponible en el mercado.

Ventajas	Desventajas
Una sola articulación para todo el cuerpo	Kit de montaje para la antorcha
Ahorra tiempo y llega a todas las posiciones	No funciona el acople sin todo el conjunto de soldadura instalada
Diseño exclusivo para soldadura MIG	Uso complejo requiere capacitación profesional
Su interfaz es universal, puede conectar con todos los tipos de robots industriales	Sus repuestos así como su mantenimiento son únicos y costosos
En su paquete modular viene una pantalla táctil que controla la soldadura	la ubicación en donde se instale el paquete, debe poseer gran espacio, difícilmente se adapta a espacios cerrados.

Fuente: Autor

Como se puede apreciar en la tabla 19, este paquete modular, se adapta a diferentes procesos de soldadura, ofrece una regulación de la velocidad hasta diez veces mayor y el control de soldadura por pantalla táctil. (Véase la figura 102 muestra el control táctil de la pantalla.)

Figura 102: Control de soldadura por pantalla táctil.



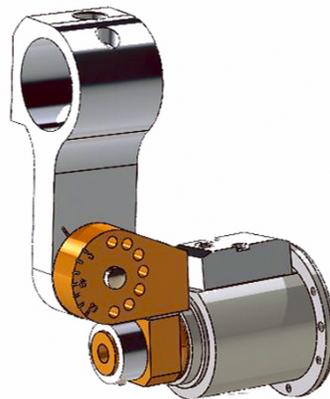
Fuente: systems, 2016

Pero todo estos beneficios vienen incluidos en el paquete y es necesario un equipo especializado para la instalación del mismo, tomando mas tiempo para la puesta en marcha y aumentado costos.

5.3.2. Herramienta de acople diseñado para el proceso de soldadura MIG aplicada al robot

Con el fin de ofrecer un diseño para una herramienta de acople accesible al mercado a menor costo y tiempo de fabricación e instalación. Desarrollamos un acople que facilitaría el proceso de soldadura MIG para el robot KUKA KR5 de la Universidad Politécnica Salesiana. En al figura 103 se muestra el modelo propuesto.

Figura 103: Herramienta de acople para el proceso de soldadura MIG



Fuente: Autor

En la tabla 14 se muestra las ventajas y desventajas principales del modelo propuesto para el proceso de soldadura con el robot KUKA KR5.

Tabla 14: Ventajas y desventajas del modelo propuesto.

Ventajas	Desventajas
Una sola articulación para todo el cuerpo	Requiere posicionar manualmente.
Ahorra tiempo y llega a todas las posiciones y por su material seleccionado es anticorrosivo	El acople podría fallar al ser mal utilizado.
Diseño exclusivo para soldadura MIG	Tiempo de fabricación varia dependiendo del material
Fácil acceso a repuesto mediante fabricación	Si no se instala correctamente la vida útil del acople puede reducirse
Fácil uso	No consta de interfaz gráfica controlable.

Fuente: Autor

El diseño de este acople es eficiente para el proceso de soldadura y muy accesible tanto para las industrias como para las personas con la necesidad de acoplar su robot KUKA para el proceso de soldadura, teniendo reducción de costos de fabricación, tiempos de entrega y facilidad de uso. Si bien, la herramienta de acople que se propone es una de las soluciones para la integración de la soldadora MIG con el KUKA, sin embargo, a pesar de que se cumplen con los objetivos de dicha problemática, se pueden dar a conocer varios estudios en cuanto a la mejora de control, optimización y en la fase de implementación, por eso se recomienda realizar futuros estudios en cuanto al accionamiento del control y al desarrollo de trayectorias que puedan poner a prueba cada una de las soluciones propuestas.

6. Resultados

En este capítulo se da a conocer los resultados obtenidos por cada objetivo específico planteado, con sus respectivos cálculos de costo por material, hora de máquina y sus respectivos análisis de ventajas y desventajas.

6.1. Identificar las características necesarias que debe tener una herramienta de acople para que el ROBOT KUKA KR5 pueda realizar una soldadora MIG

Para cumplir con este primer objetivo fue necesario conocer a primera instancia las máquinas que iban a conectar este acople, las cuales son la soldadora MIG y el robot KUKA KR5, al conocer el funcionamiento de ambos podemos extraer las características que consideramos necesarias para el diseño.

Características para la herramienta de acople basados en las características principales de cada máquina:

- **Dimensiones:** Exclusivo para el robot KUKA KR5 por la conexión de la brida con el acople y la pistola de la soldadora MIG 22A.
- **Rigidez:** Necesaria para resistir cualquier tipo de deformación cuando se aplica una fuerza externa o haya un sobrepeso. En esta sección es importante seleccionar el tipo de material, ya que las propiedades del material elegido afectan la rigidez torsiones de los componentes y esto nos lleva a la siguiente característica.
- **Material:** Tomando en cuenta las variables del proceso, se opta por analizar un material capaz de soportar el peso de la pistola, altas temperaturas, vibraciones y para evitar la corrosión, estas propiedades son necesarias por su durabilidad y su capacidad de soportar en condiciones ambientales muy adversas.
- **Diseño simple y confiable:** Principalmente fácil instalación y uso por el operador, el diseño se lo hizo manual pero con la capacidad de convertirla en automática con un estudio que se enfocó a ese tema, no se incluye en este trabajo.

6.2. Diseñar la herramienta de acople

Para cumplir con el objetivo se realizaron múltiples diseños de acoples, con estos diseños se realizó un factor de ponderación donde se comparaba a cada uno con su costo, seguridad, desempeño confiabilidad y su rango, todo esto para crear un diseño que pueda dar una mejor solución. Se analizó por la metodología DFMA, para dar como resultado un producto simple y confiable a menor costo de ensamblaje, se examinó los efectos del índice de criticidad para así poder centrarse en la pieza que podría ocasionar posibles fallas.

Para concluir el diseño, se realizó el análisis de esfuerzos y deformaciones, se hizo el análisis estático aplicando una fuerza sobre la parte del acople donde soportara todo el peso y se comparó el límite elástico o fluencia del material con el esfuerzo calculado por software de Von Mises y se llegó a la conclusión que dicho diseño con el material seleccionado no falla. En este trabajo se analizó el costo de la mano de obra y costos de producción por material, sobre todo decir que usando un material como el aluminio o el acero inoxidable el acople funcionaría correctamente.

6.3. Proponer un proceso de soldadura de unión a tope con el robot KUKA KR5

En el desarrollo de modelo, principalmente se definió una posición de referencia, para luego establecer la posición inicial del proceso de simulación MIG. La posición de referencia no es la posición inicial, ya que definió una posición donde el robot KUKA KR5 este completamente estirado en un solo sentido, en este caso el sentido fue de forma horizontal, a partir de esta posición de referencia, se pudo obtener las ecuaciones que establecerán la posición y inicial y próximos movimientos para realizar el proceso de soldadura MIG por unión a tope, todos estos cálculos fueron desarrollados en Matlab y la simulación en Simulink propio del Matlab. Para la visualización del proceso, se creó un diagrama de bloques de control importando el diseño realizado en Inventor al Matlab, para tener un manejo del proceso y definir la trayectoria de movimiento se realizó un proceso de control que incluye la trayectoria, fase del modelo de control y ecuaciones de movimiento, dando como resultado una interfaz de control para cada articulación, posición, trayectoria y velocidad del camino. Cada movimiento realizado desde la interfaz muestra gráficos de errores respecto los ejes y velocidades angulares

6.4. Analizar las ventajas y desventajas del diseño propuesto con un modelo del mercado

El análisis de ventajas y desventajas se realizó con un acople existente en el mercado diseñado y fabricado por la casa KUKA. Las principales ventajas fue por el tiempo en fabricación y montaje del acople en comparación con el de mercado, nuestro acople puede desarrollarse en cualquier taller que cuente con las maquinas herramientas apropiadas como el torno, fresadora y taladro junto con el personal apto de usar dichas maquinas, los materiales son encontrados en el mercado y su precio es relativamente menor, mantenimiento y gracias a las propiedades del material su vida útil puede llegar a ser igual al del propuesto por el mercado.

7. Conclusiones

En este trabajo se presento el diseño de una herramienta de acople para el proceso de soldadura MIG aplicada al robot KUKA KR5. En el que se consideraron diferentes diseños para el acople, material y tipo de fabricación. A pesar de no ser en un ambiente real, tiene su complejidad y requiere de partir de un buen modelado del sistema el cual permitirá obtener las ecuaciones de movimientos para simular el proceso de soldadura MIG y de esta forma resolver el problema de estudio de manera satisfactoria, lo mas cercano a lo que ocurre en la realidad. En el proceso se analizaron varias formas y métodos para poder obtener y resolver las ecuaciones de movimiento y una interfaz capaz de controlar el proceso de soldadura mediante el software de simulación "Simulink".

Para el primer objetivo especifico, se identificaron las características del tipo de material a usar para que soporte tanto el peso como las altas temperaturas, también las dimensiones de la muñeca ya que el acople es exclusivo para este modelo de KUKA y su movilidad rotacional, como se puede observar en el diseño, tiene dos rotaciones permitiendo le alcanzar el área de trabajo del KUKA.

Para el segundo objetivo específico, se realizaron 6 diseños de acople y se realizó una comparación para determinar lo mejor de cada acople y extraer lo mejor de cada uno, encontrando un factor de ponderación y los respectivos simulaciones de esfuerzos y deformaciones de los diseños y encontrar la pieza que posiblemente ocasione fallo al instalar incorrectamente. Dando como resultado que la pieza que más provocaría fallo es la base del acople al estar mal instalada, el resto de acople no falla ni sufre desplazamientos.

Para el tercer objetivo específico, se obtuvo las ecuaciones que establecerán la posición y próximos movimientos para realizar el proceso de soldadura MIG por unión a tope. Para la visualización del proceso, se creó un diagrama de bloques de control importando el diseño realizado en Inventor al Matlab, para tener un manejo del proceso y definir la trayectoria de movimiento se realizó un proceso de control que incluye la trayectoria, fase del modelo de control y ecuaciones de movimiento, dando como resultado una interfaz de control para cada articulación, posición, trayectoria y velocidad del camino. Obteniendo un proceso de soldadura MIG estable con errores insignificantes por cada articulación.

Para el cuarto objetivo específico, se analiza el acople con uno existente del mercado, esto pues para comparar ventajas y desventajas de cada uno, así para diferenciar los beneficios de cada acople y mostrar el porqué el diseño propuesto es comparable con uno de mercado.

8. Recomendaciones

De esta manera se cumplieron los objetivos, el general y los específicos. También se sugiere evaluar el tipo de configuración necesaria en la unidad de control del robot KUKA KR5 y la soldadora MIG 22A. Pero este trabajo puede extenderse para futuras investigaciones o análisis para un ambiente real, ya que se deben considerar ciertos parámetros para el proceso, tales como el estudio del controlador del acople, que puede incluir la visión por computador para entender de mejor manera la automatización del proceso de soldadura basada en una cámara que permita visualizar y controlar desde la computadora todo el proceso de soldadura.

Referencias

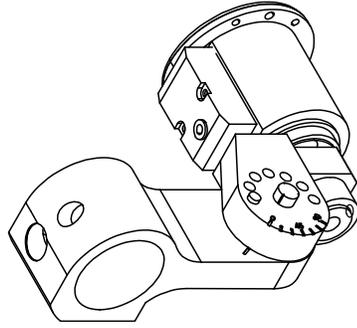
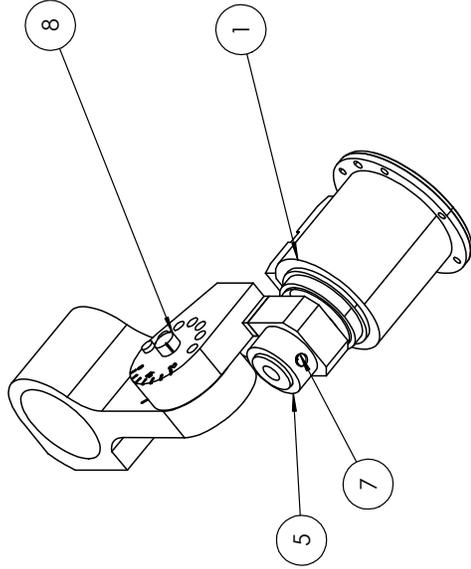
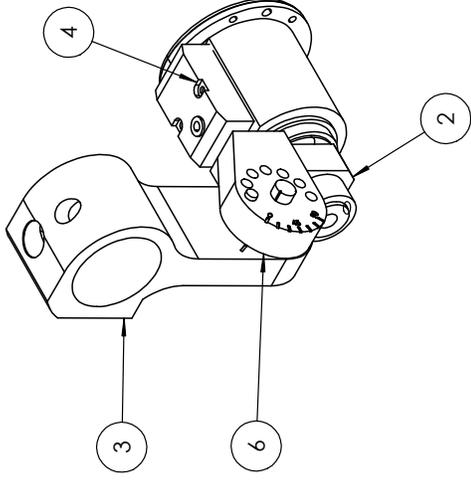
- Antoni Garrel, L. G. (2019). *La Industria 4.0* (N. Gibert, Ed.; 1.^a ed.). Margue Books.
- Arriaga Segundo, C. Z. O. G., Leobardo; Bernache Gonzales. (2008). *Procesos de soldadura*. Instituto Politécnico Nacional (Mexico).
- Ashby, M. F. (2018). *Materiales para ingeniería 1: Introducción a las propiedades, las aplicaciones y el diseño* (Vol. 1). Reverté.
- Barrientos, A., y col. (2007). Fundamentos de robótica.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. (2010). *Product design for manufacture and assembly*. CRC press.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGrawHill.
- C, L. (2019). Guia completa: el filamento PLA en la impresion 3D. *3D natives el sitio web de la impresion 3D*.
- Chavez Pazmiño, D. S., Angel Wladimir; Aguiar Orta. (2016). *Diseño e implementacion de un dispositivo haptico para el manipulador robotico industrial kuka kr16* (Tesis doctoral). Universidad Politecnica Salesiana. Sangolqui.
- Cortés, F. R. (2013). *MATLAB: aplicado a la robótica y mecatrónica*. Alfaomega.
- Criollo sánchez, A. I. (2019). *Diseño y construcción de una herramienta robótica de tres dedos para ambientes y aplicaciones industriales, mediante mecanismos sub-actuados aplicando técnicas de modelado por deposición fundida para el brazo robótico kuka kr16 del laboratorio de robótica industrial en la Universidad de las fuerzas armadas ESPE extensión Latacunga* (Tesis doctoral). Universidad de las Fuerzas Armadas.
- de Robots, R. (2021). Robots industriales. Qué es un robot industrial, tipos y ejemplos de robots. *Robots*.
- Electric, J. (2019). *Robotics in Material Handling*. <https://us.johnsonelectric.com/robotics-in-material-handling/>
- enseñanza de CC. OO. de Andalucía, F. (2010). Tipos de uniones soldadas. *Temas para la Educacion*, 11.
- Escandon Cueva, R. A. (2013). *Interfaz de control para un brazo robot articulado basado en software de desarrollo integral* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica Salesiana.
- Gajic, Z., & Qureshi, M. T. J. (2008a). *Lyapunov matrix equation in system stability and control*. Courier Corporation.
- Gajic, Z., & Qureshi, M. T. J. (2008b). *Lyapunov matrix equation in system stability and control*. Courier Corporation.

- González Vallejo, O. F., Juan Carlos; Morales Vizuet. (2015). *Diseño y construcción de un cambiador automático para tres herramientas del brazo robótico kuka kr 16-2 en el laboratorio de robótica industrial de la espe-l* (Tesis doctoral). Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Heizer, J., Render, B., & Parra, J. L. M. (2007). *Dirección de la producción y de operaciones: decisiones estratégicas* (inf. téc.). Pearson educación Madrid.
- Hibbeler, R. (2010). *Ingeniería Mecánica–Estatica*, Decimosegunda ed.
- Jeffus, L., & Rowe, R. (2008). *Manual de soldadura gmaw (MIG-MAG)*. Editorial Paraninfo.
- Jeffus, L., & Rowe, R. (2009). *Soldadura, principios y aplicaciones*. Editorial Paraninfo.
- KUKA. (2016). *KR 5 arc HW, KR 5 arc HW-2*. KUKA. Alemania - Augburgo.
- KUKA. (2010). *KUKA Control Panel (KCP)*. KUKA.
- KUKA. (2022). *KUKA Office Lite*. Consultado el 25 de enero de 2022, desde https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/software/planificaci%C3%B3n-proyecci%C3%B3n-servicio-seguridad/kuka_officelite
- Kuka. (2020a). *KR 70 R2100*. Kuka S.A.
- Kuka. (2020b). *KR 420 R3080 F*. Kuka S.A.
- Kumar Saha, S. (2010). *Introducción a la robótica*. México editorial McGraw. Hill.
- Meyers, F. E., Stephens, M. P., & Brito, J. E. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. Pearson educación México.
- Miller. (2009). *22A, 24A*. MillerWelds.
- Molera Sola, P. (1992). *Soldadura industrial: clases y aplicaciones*. Marcombo S.A.
- Mott, R. L., y Pozo, V. G., Sánchez, S. S., Fernández, Á. H., & Sánchez, J. V. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*.
- Oxgasa. (2009). *Manual del soldador*. Infrasal.
- Patricio Javier, O. O., Guaraca Medina; Jorge Leonardo. (2013). *Estudio de la programación y operación de los robots Industriales KUKA KR16-2 Y KR5-2 ARC HW* (Tesis doctoral). Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Paucar, C. O. C. (2013). *Automatización de un robot cartesiano para el proceso de soldadura lineal mig* (Tesis doctoral). Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Pugh, S. (2009). *The systems engineering tool box*.
- Robert, L. (2009). *Norton Diseño de Maquinaria*.
- Rodriguez, P. (2013). *Manual de soldadura*. TECNIBOOK EDICIONES.
- systems, S. W. (2016). *Paquete modular de soldadura power joint*. Kuka.
- VKRC, S. (2007). *Contenidos del manual de operación*. KUKA.

- Yedavalli, R. (1985). Perturbation bounds for robust stability in linear state space models. *International Journal of Control*, 42(6), 1507-1517.
- Yepes, V. M. R. (2020). *Elaboración de un programa de puntos de inspección de soldadura para la empresa esmon sas* (Tesis doctoral). Universidad Tecnológica de Pereira.

9. ANEXOS

9.1. Anexo 1: Planos diseño final



9	ISO 8740-M10x20-St	1
8	ISO 8740-M10x40-St	1
7	ISO 8739-M5x18-St	1
6	Parte 2 Selector	1
5	Seguro	1
4	Compartimiento	1
3	Sujetador Pistola	1
2	Parte 1 Selector	1
1	Base Acople	1

Marca	Denominación	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Fecha		Firma:	
Nombre		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	
Dibujado		Milton M.	
Comprobado		Bryam C.	

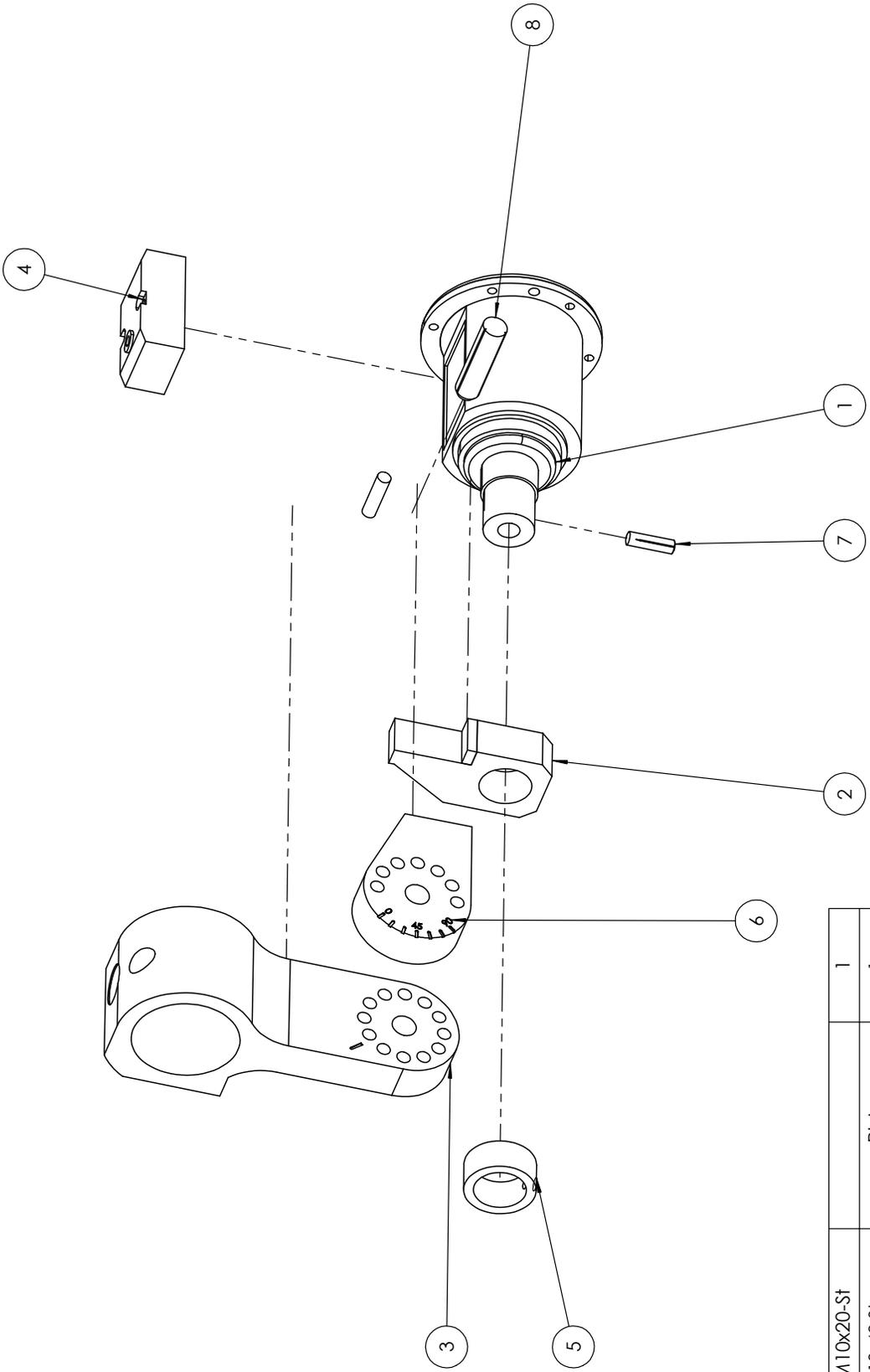
Escala: 1:2

ENSAMBLAJE 3D

Ingeniería Mecatronica

Hoja N

N. Hoja



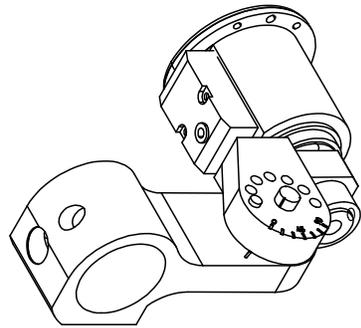
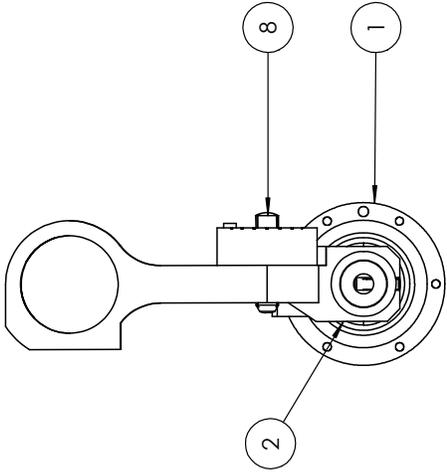
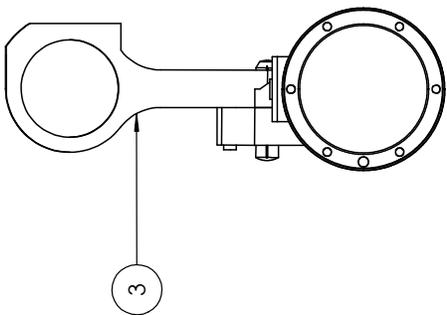
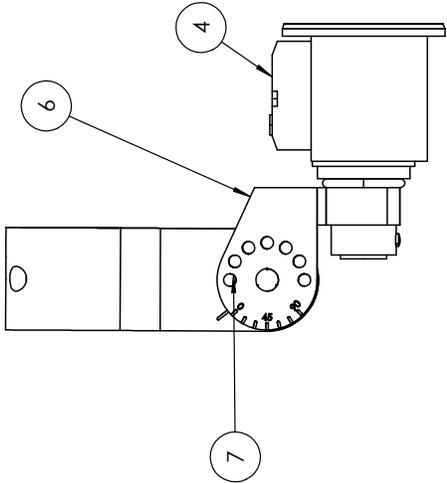
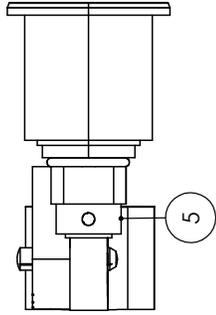
Marca	Denominación	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
9	ISO 8740-M10x20-St		1
8	ISO 8740-M10x40-St	PLA	1
7	ISO 8739-M5x18-St	PLA	1
6	Parte 2 Selector	PLA	1
5	Seguro	PLA	1
4	Compartimiento	PLA	1
3	Sujetador Pistola	PLA	1
2	Parte 1 Selector	PLA	1
1	Base Acople	PLA	1

Dibujado	Fecha	Firma:	
	Comprobado	Nombre	
	14/12/2021	Milton M.	
	25/12/2021	Bryam C.	



Escala:	Vista explosionada ensamblaje
2:3	

Ingeniería Mecatrónica
Hoja N.
N. Hoja.

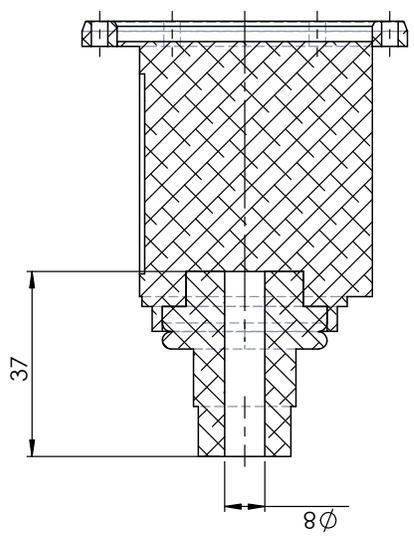
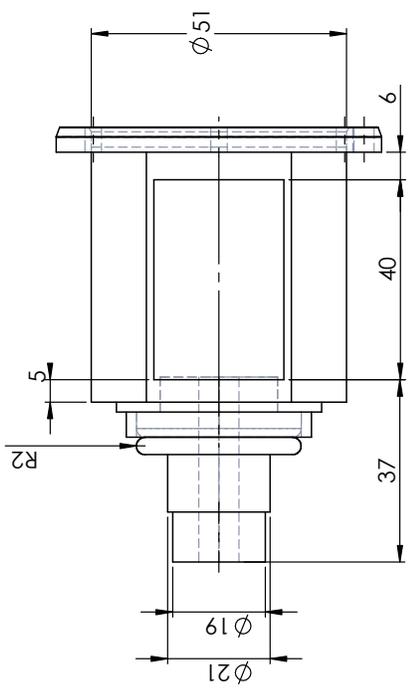
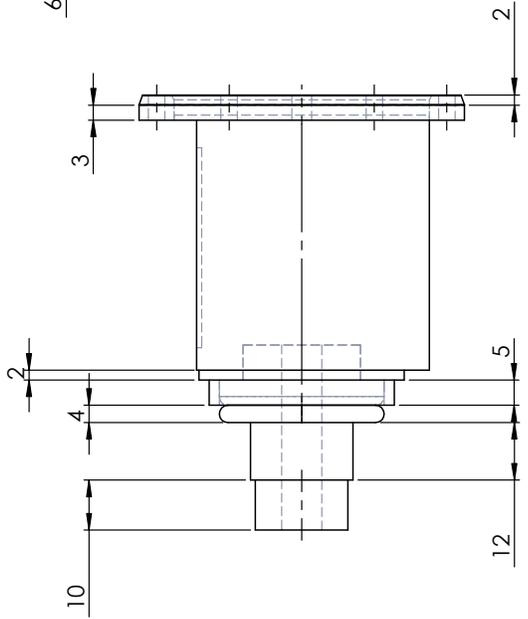
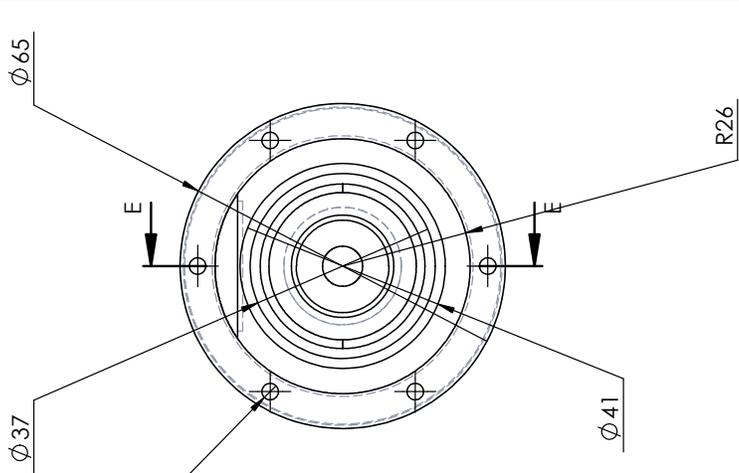


9	ISO 8740-M10x20-St		1
8	ISO 8740-M10x40-St	PLA	1
7	ISO 8739-M5x18-St	PLA	1
6	Parte 2 Selector	PLA	1
5	Seguro	PLA	1
4	Compartimiento	PLA	1
3	Sujetador Pistola	PLA	1
2	Parte 1 Selector	PLA	1
1	Base Acople	PLA	1

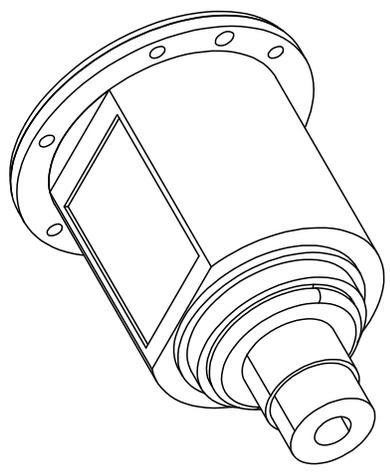
Marca	Denominación	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
	Nombre	Firma:	
Dibujado	14/12/2021	Milton M.	
Comprobado	25/12/2021	Bryam C.	



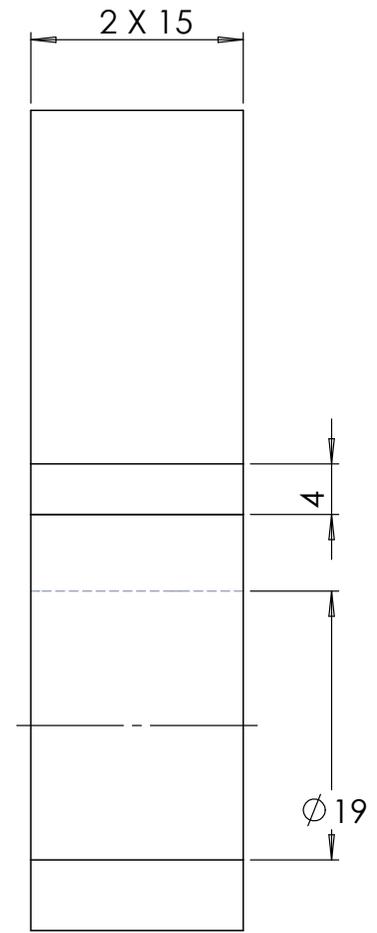
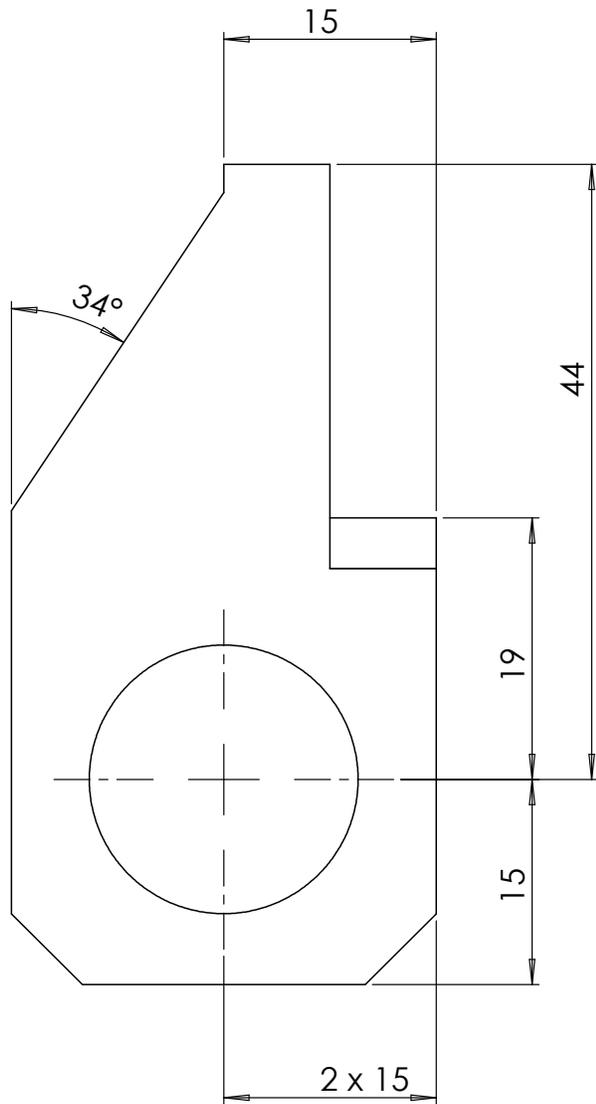
Escala: 1:2 	ENSAMBLAJE 2D
<i>Ingeniería Mecatrónica</i>	
Hoja N	
N. Hoja	

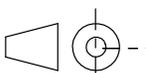


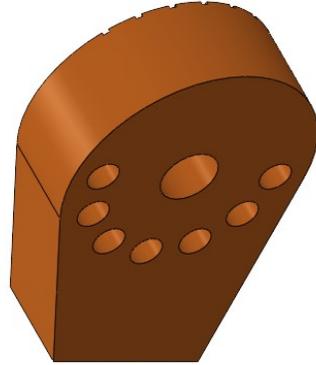
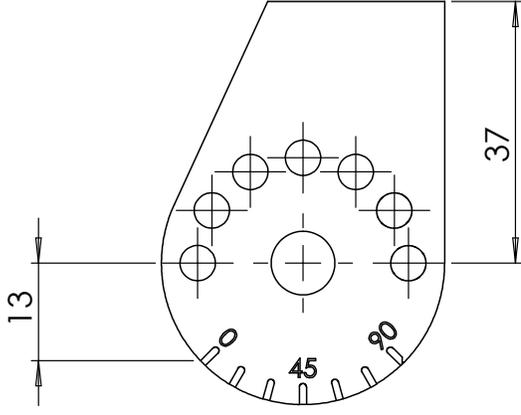
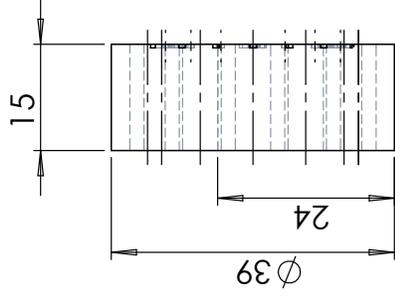
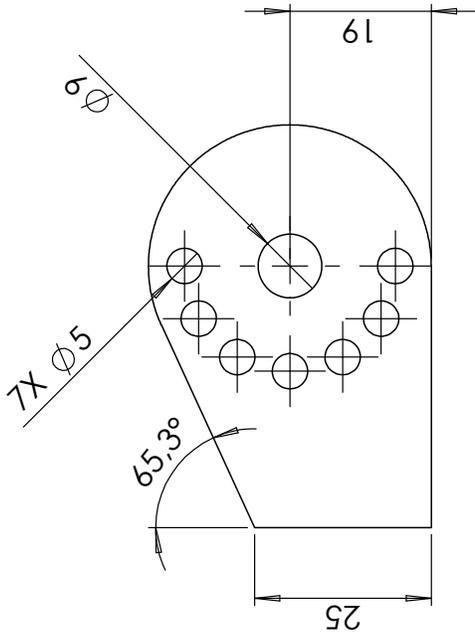
SECCIÓN E-E



		Firma:	
Fecha:	Nombre:	Milton M. Bryam C.	
Dibujado:	Comprobado:	14/12/2021 25/12/2021	
Escala:		1:1	
			
Ingeniería Mecatrónica		Base acople	
Pieza N: 1		N. Hoja: 8	



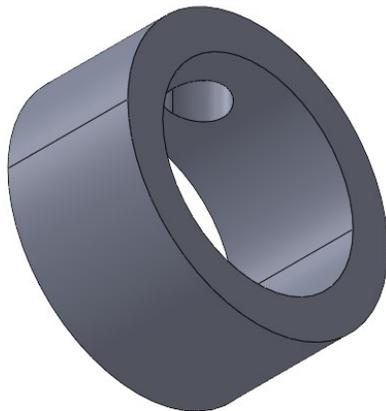
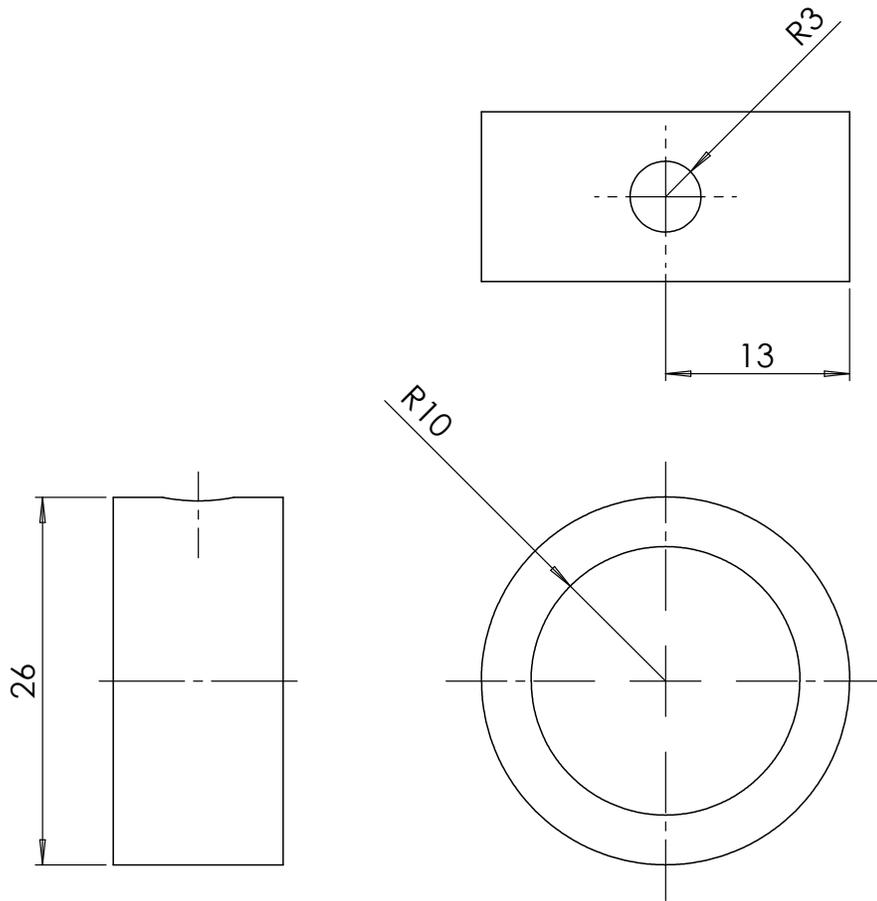
	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>Firma:</i>	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	
<i>Dibujado</i>	14/12/2021	Milton M.			
<i>Comprobado</i>	25/12/2021	Bryam C.			
<i>Escala:</i>	Parte 1 Selector			<i>Ingenieria Mecatronica</i>	
2:1				<i>Hoja N</i>	<i>2</i>
				<i>N. Hoja</i>	<i>8</i>

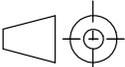


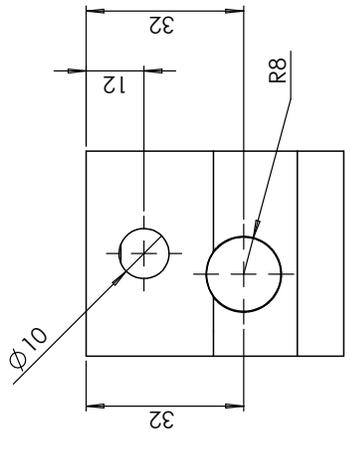
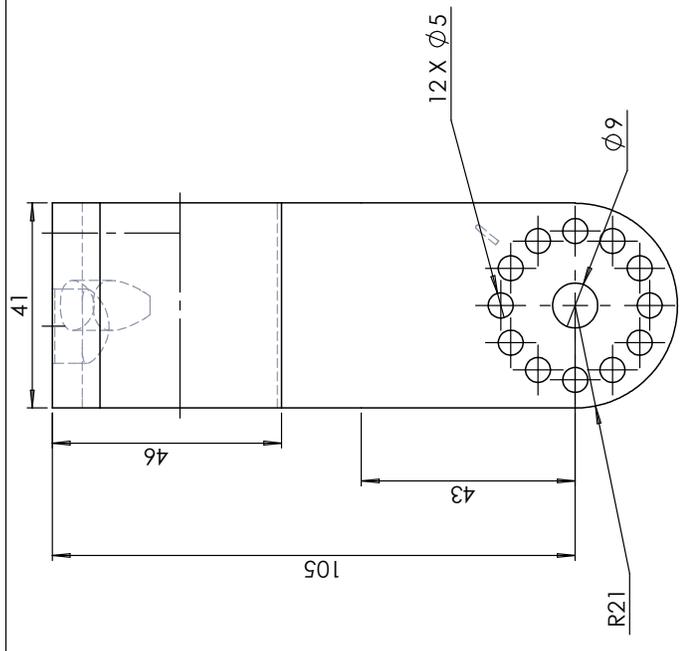
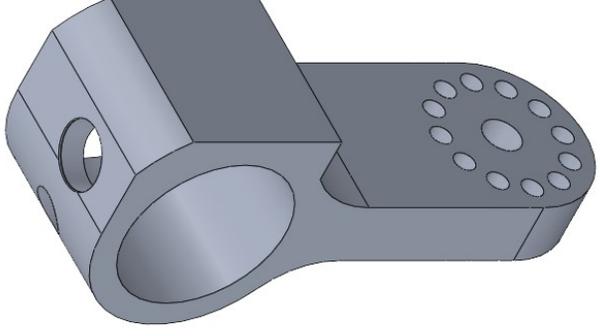
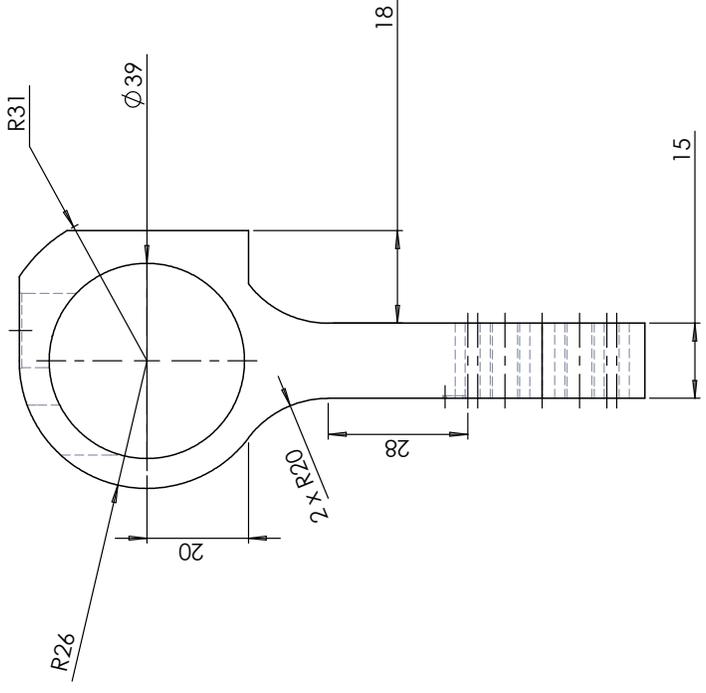
Fecha		Nombre		Firma:			
Dibujado 14/12/2021		Milton M.					
Comprobado 25/12/2021		Bryam C.					
Escala: 1:1		<h1>Parte 2 Selector</h1>				Ingeniería Mecatrónica	
						Hoja N 3	
						N. Hoja 8	



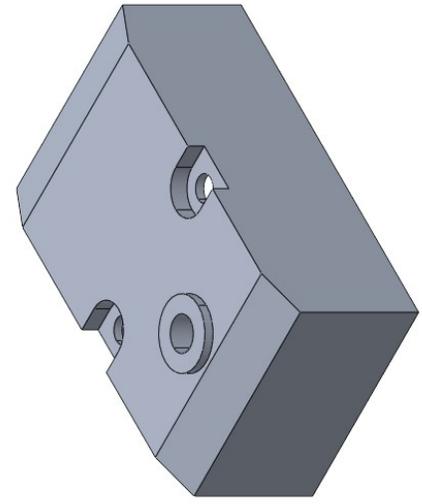
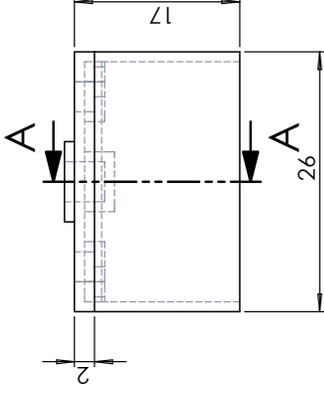
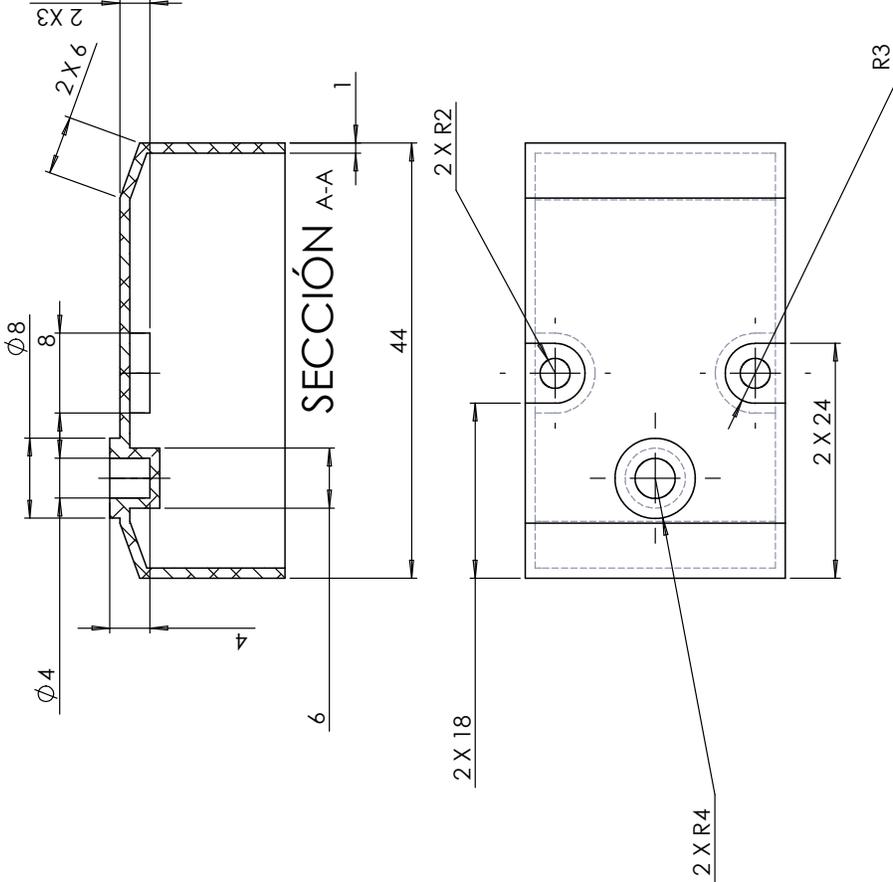
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA
ECUADOR



	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>Firma:</i>	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	
<i>Dibujado</i>	14/12/2021	Milton M.			
<i>Comprobado</i>	25/12/2021	Bryam C.			
<i>Escala:</i>	<h1>Seguro</h1>			<i>Ingeniería Mecatrónica</i>	
2:1 				<i>Hoja N</i>	4
				<i>N. Hoja</i>	8



Dibujado	Fecha	Firma:	
	Comprobado	Nombre	
	14/12/2021	Milton M.	
	25/12/2021	Bryam C.	
Escala:		Sujetador pistola	
1:1			
Ingeniería Mecatrónica		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	
Hoja N		5	
N. Hoja		8	



Dibujado 14/12/2021	Fecha	Firma:	
	Comprobado 25/12/2021	Nombre Milton M. Bryam C.	
Escala: 2:1		Compartimiento	
Ingeniería Mecatrónica Hoja N 6 N. Hoja 8			



9.2. Anexo 2: Análisis Cinemático del Robot KUKA KR5

```
1  function A07 = cinematica(q)
2  scale = 1e-3;
3  lx1  = 180*scale;
4  lz1  = 400*scale;
5  ly1  = 120*scale;
6
7  lx2  = 600*scale;
8  ly2  = -125*scale ;
9
10  lz2  = 170*scale;
11  lx3  = 235.8*scale;
12
13  lx4  = 620*scale;
14  lx5  = 194.5*scale;
15
16  lz3  = 170*scale;
17  ly3  = 0*scale;
18
19  lx6  = 302.54*scale;
20
21  ly4  = 194.5*scale ;
22  lz4  = -38.5*scale ;
23  lx7  = 351.63*scale;
24
25
26  teta = [q(1) q(2) q(3)+90 q(4) q(5) q(6) q(7)-90];
27  d = [lz1 0 0 lx4 0 lx6 -ly3];
28  a = [lx1 lx2 -lz2 0 0 lz4 lx7];
29  alfa = [-90 0 90 -90 90 -90 0];
30
31  A01 = denavit(teta(1), d(1), a(1), alfa(1));
32  A12 = denavit(teta(2), d(2), a(2), alfa(2));
33  A23 = denavit(teta(3), d(3), a(3), alfa(3));
34  A34 = denavit(teta(4), d(4), a(4), alfa(4));
35  A45 = denavit(teta(5), d(5), a(5), alfa(5));
36  A56 = denavit(teta(6), d(6), a(6), alfa(6));
37  A67 = denavit(teta(7), d(7), a(7), alfa(7));
38  A07 = A01 * A12 * A23 * A34 * A45 * A56 * A67;
```

9.3. Anexo 3: Análisis de la Matriz Jacobiana del Robot KR5 y el acople diseñado

```

1  syms lx1 lz1 ly1 lx2 ly2 lz2 lx3 lx4 lx5 lz3 ly3 lx6 ly4 lz4
   lx7 q1 q2 q3 q4 q5 q6 q7 real
2
3  hx=F(q1 , q2 , q3 , q4 , q5 , q6 , q7 ) ;
4  hy=F(q1 , q2 , q3 , q4 , q5 , q6 , q7 ) ;
5  hz=F(q1 , q2 , q3 , q4 , q5 , q6 , q7 ) ;
6
7  J11 = diff(hx , q1 ) ;
8  J12 = diff(hx , q2 ) ;
9  J13 = diff(hx , q3 ) ;
10 J14 = diff(hx , q4 ) ;
11 J15 = diff(hx , q5 ) ;
12 J16 = diff(hx , q6 ) ;
13 J17 = diff(hx , q7 ) ;
14
15 J21 = diff(hy , q1 ) ;
16 J22 = diff(hy , q2 ) ;
17 J23 = diff(hy , q3 ) ;
18 J24 = diff(hy , q4 ) ;
19 J25 = diff(hy , q5 ) ;
20 J26 = diff(hy , q6 ) ;
21 J27 = diff(hy , q7 ) ;
22
23 J31 = diff(hz , q1 ) ;
24 J32 = diff(hz , q2 ) ;
25 J33 = diff(hz , q3 ) ;
26 J34 = diff(hz , q4 ) ;
27 J35 = diff(hz , q5 ) ;
28 J36 = diff(hz , q6 ) ;
29 J37 = diff(hz , q7 ) ;
30
31 J = [J11 J12 J13 J14 J15 J16 J17 ; ...
32      J21 J22 J23 J24 J25 J26 J27 ; ...
33      J31 J32 J33 J34 J35 J36 J37 ] ;

```

9.4. Anexo 4: Análisis de control mediante Lyapunov

```
1  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% PARAMETROS DE ROBOT %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2  scale = 0.6e-3;
3  lx1 = 180*scale;
4  lz1 = 400*scale;
5  ly1 = 120*scale;
6
7  lx2 = 600*scale;
8  ly2 = -125*scale ;
9
10 lz2 = 170*scale;
11 lx3 = 235.8*scale;
12
13 lx4 = 620*scale;
14 lx5 = 194.5*scale;
15
16 lz3 = 170*scale;
17 ly3 = -7.5*scale;
18
19 lx6 = 297.11*scale;
20
21 ly4 = 194.5*scale ;
22 lz4 = -38.5*scale ;
23 lx7 = 351.63*scale;
24
25 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CONDICIONES INICIALES %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
26 q1 = zeros(1,N+1);
27 q2 = zeros(1,N+1);
28 q3 = zeros(1,N+1);
29 q4 = zeros(1,N+1);
30 q5 = zeros(1,N+1);
31 q6 = zeros(1,N+1);
32 q7 = zeros(1,N+1);
33
34
35 q1(1) = 0*(pi/180); % Posicion angular de la base [rad]
36 q2(1) = -90*(pi/180); % Posicion angular del eslabon 1 [rad]
37 q3(1) = 90*(pi/180); % Posicion angular del eslabon 2 [rad]
38 q4(1) = 0*(pi/180); % Posicion angular del eslabon 3 [rad]
39 q5(1) = 0*(pi/180); % Posicion angular del eslabon 4 [rad]
40 q6(1) = 0*(pi/180); % Posicion angular del eslabon 5 [rad]
```

```

41 q7(1) = 0*(pi/180); % Posicion angular del eslabon 6 [rad]
42
43
44 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% PUNTO OPERACIONAL %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
45 hx = zeros(1,N+1);
46 hy = zeros(1,N+1);
47 hz = zeros(1,N+1);
48
49 % Cinematica directa
50 hx=F(q1,q2,q3,q4,q5,q6,q7);
51 hy=F(q1,q2,q3,q4,q5,q6,q7);
52 hz=F(q1,q2,q3,q4,q5,q6,q7);
53
54 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% POSICION DESEADA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
55 %inicial
56 hxd = 0.984;
57 hyd = 0.0015;
58 hzd = 0.45;
59 % %final
60 % hxd = 0.744;
61 % hyd = -0.0015;
62 % hzd = 0.45;
63
64 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% ACCIONES DE CONTROL %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
65 q1pRef = zeros(1,N);
66 q2pRef = zeros(1,N);
67 q3pRef = zeros(1,N);
68 q4pRef = zeros(1,N);
69 q5pRef = zeros(1,N);
70 q6pRef = zeros(1,N);
71 q7pRef = zeros(1,N);
72 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% ERRORES %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
73 hxe = zeros(1,N);
74 hye = zeros(1,N);
75 hze = zeros(1,N);
76 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% BUCLE %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
77 for k=1:N
78
79 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CONTROLADOR %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
80
81 % a) Error
82 hxe(k) = hxd-hx(k);

```

```

83     hye(k) = hyd-hy(k);
84     hze(k) = hzd-hz(k);
85
86     he = [hxe(k);hye(k);hze(k)];
87     J = [J11 J12 J13 J14 J15 J16 J17;...
88         J21 J22 J23 J24 J25 J26 J27;...
89         J31 J32 J33 J34 J35 J36 J37];
90
91     % c) Parametros de control
92
93     K = [1 0 0;...
94         0 1 0;...
95         0 0 1];
96     % d) Ley de control
97     qpRef = pinv(J)*K*he;
98
99     % e) Separar las acciones de control
100    q1pRef(k) = qpRef(1);
101    q2pRef(k) = qpRef(2);
102    q3pRef(k) = qpRef(3);
103    q4pRef(k) = qpRef(4);
104    q5pRef(k) = qpRef(7);
105    q6pRef(k) = qpRef(6);
106    q7pRef(k) = qpRef(7);
107
108    % f) Aplicar las acciones de control
109
110    q1(k+1) = q1(k)+ts*q1pRef(k);
111    q2(k+1) = q2(k)+ts*q2pRef(k);
112    q3(k+1) = q3(k)+ts*q3pRef(k);
113    q4(k+1) = q4(k)+ts*q4pRef(k);
114    q5(k+1) = q5(k)+ts*q5pRef(k);
115    q6(k+1) = q6(k)+ts*q6pRef(k);
116    q7(k+1) = q7(k)+ts*q7pRef(k);
117
118    % Cinematica directa
119    hx(k+1)(q1 q2 q3 q4 q5 q6 q7)
120    hy(k+1)(q1 q2 q3 q4 q5 q6 q7)
121    hz(k+1)(q1 q2 q3 q4 q5 q6 q7)
122end

```

9.5. Anexo 5: Entorno de simulación del ROBOT KUKA KR5 y el acople diseñado.

Figura 104: Material digital del entorno de simulación del ROBOT KUKA KR5 y el acople diseñado



Fuente: Autor