



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO DE BRAZO ROBÓTICO INDUSTRIAL DIDÁCTICO AUTOMATIZADO PARA PROCESO DE SOLDADURA GMAW”

**ARIAS PORTALANZA DIANA CAROLINA
VILEMA ERAZO MELITON ROGELIO**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014-11-19

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**ARIAS PORTALANZA DIANA CAROLINA
VILEMA ERAZO MELITON ROGELIO**

Titulada:

**“ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO DE BRAZO ROBÓTICO INDUSTRIAL
DIDÁCTICO AUTOMATIZADO PARA PROCESO DE SOLDADURA GMAW”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jhonny Orozco Ramos
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Carlos Santillán Mariño
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ARIAS PORTALANZA DIANA CAROLINA

TÍTULO DE LA TESIS: “ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO DE BRAZO ROBÓTICO INDUSTRIAL DIDÁCTICO AUTOMATIZADO PARA PROCESO DE SOLDADURA GMAW”

Fecha de Examinación: 2016-03-04

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Jhonny Orozco Ramos DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Carlos Santillán Mariño ASESOR DE TESIS			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: VILEMA ERAZO MELITON ROGELIO

TÍTULO DE LA TESIS: **“ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO DE BRAZO ROBÓTICO INDUSTRIAL DIDÁCTICO AUTOMATIZADO PARA PROCESO DE SOLDADURA GMAW”**

Fecha de Examinación: 2016-03-04

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Jhonny Orozco Ramos DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Carlos Santillán Mariño ASESOR DE TESIS			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Diana Carolina Arias Portalanza

Meliton Rogelio Vilema Erazo

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Diana Carolina Arias Portalanza y Meliton Rogelio Vilema Erazo, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Diana Carolina Arias Portalanza
Cedula de Identidad: 060390548-0

Meliton Rogelio Vilema Erazo
Cedula de Identidad: 060379052-8

DEDICATORIA

El apoyo y cariño constante de los seres a quienes aprecio, logran que pueda alcanzar mis metas y culminar con lo establecido.

La paciencia y dedicación es un punto importante para seguir cumpliendo con los ideales propios y es por ese motivo que dedico el presente trabajo a quienes me supieron apoyar a la realización del mismo en especial y con amor a mi hijo y a mi familia.

Diana Carolina Arias Portalanza.

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres quienes me dieron vida, educación, apoyo, consejo y siempre estuvieron conmigo a pesar de los errores que he cometido. A mis maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido culminar esta etapa. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi corazón. Para todos ellos hago esta dedicatoria.

Meliton Rogelio Vilema Erazo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme fortaleza para lograr mis metas, a mi familia por brindarme todo el cariño y confianza para ver culminada una meta más de la vida

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por darme la oportunidad de obtener una profesión, y ser una persona útil a la sociedad.

Agradezco al Ing. Jhonny Orozco e Ing. Carlos Santillán, por brindarme su amistad y asesoramiento de la tesis, quienes con la ayuda de su conocimiento y experiencia se logró elaborar el presente documento

Diana Carolina Arias Portalanza.

Agradezco a Dios por darme fortaleza para lograr mis metas, a mi familia por brindarme todo el cariño y confianza para ver culminada una meta más de la vida

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por darme la oportunidad de obtener una profesión, y ser una persona útil a la sociedad.

Agradezco al Ing. Jhonny Orozco e Ing. Carlos Santillán, por brindarme su amistad y asesoramiento de la tesis, quienes con la ayuda de su conocimiento y experiencia se logró elaborar el presente documento

Meliton Rogelio Vilema Erazo.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Robótica.....	4
2.1.1 <i>Tipos de robots</i>	4
2.1.2 <i>Robots industriales</i>	4
2.1.3 <i>Tipos de robots industriales</i>	5
2.1.4 <i>Tecnología de robots</i>	7
2.2 Cinemática y dinámica de Robots Industriales.....	7
2.2.1 <i>Cinemática de Robots Industriales</i>	7
2.2.2 <i>Morfología del robot</i>	8
2.2.3 <i>Dinámica de robots industriales</i>	10
2.3 Elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos utilizados en el prototipo.....	11
2.3.1 <i>Elementos mecánicos</i>	11
2.3.2 <i>Elementos eléctricos</i>	11
2.3.3 <i>Elementos electrónicos</i>	13
2.4 Análisis de los materiales.....	14
2.4.1 <i>Acero estructural</i>	14
2.4.2 <i>Acero de transmisión</i>	14
2.4.3 <i>Aluminio</i>	15
2.4.4 <i>Acrílico</i>	15
2.4.5 <i>Plástico ABS</i>	16
2.5 Componentes de Hardware y Software.....	16
2.5.1 <i>Componentes de Hardware</i>	16
2.5.2 <i>Componentes de Software</i>	16
2.6 Grados de libertad de Robots industriales.....	18
2.7 Descripción del funcionamiento de robots soldadores.....	18
2.7.1 <i>La soldadura</i>	18
2.7.2 <i>Soldadura GMAW</i>	18
2.7.3 <i>Soldadura robotizada</i>	19
2.7.4 <i>Ventajas de la soldadura robotizada</i>	20
2.8 Análisis comparativo entre alternativas existentes, elección de la mejor alternativa.....	20
2.8.1 <i>Selección de la mejor alternativa</i>	23
3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE BRAZO ROBÓTICO SOLDADOR	
3.1 Diseño del circuito de control.....	24
3.2 Diseño del circuito eléctrico.....	26
3.2.1 <i>Diseño eléctrico</i>	26

3.2.2	<i>Selección de la Soldadora</i>	28
3.3	Elaboración del esquema del brazo	29
3.3.1	<i>Elaboración del diseño de las partes que conforman el brazo</i>	30
3.3.2	<i>Elaboración del sistema de transmisión</i>	36
3.4	Diagrama de instalación	45
3.5	Construcción de los elementos del brazo	46
3.5.1	<i>Selección del material</i>	46
3.5.2	<i>Elaboración de las partes que conforman el brazo</i>	46
3.5.3	<i>Construcción del sistema de transmisión</i>	49
3.6	Montaje del brazo robótico soldador	51
3.7	Comunicación entre el prototipo de brazo soldador y ordenador.....	52
3.8	Pruebas y puesta en funcionamiento del prototipo de brazo soldador	53
3.9	Cálculo de los esfuerzos en materiales de la estructura base	54
3.9.1	<i>Construcción de la estructura base</i>	54
3.9.2	<i>Análisis estático del módulo didáctico</i>	55
4.	MANUAL DE OPERACIÓN Y GUÍA DE PRÁCTICAS DEL LABORATORIO	
4.1	Instalación de software y carga del programa	62
4.1.1	<i>Instalación de software</i>	62
4.1.2	<i>Carga del programa</i>	63
4.2	Ensamble del prototipo del brazo soldador	67
4.2.1	<i>Estructura base</i>	67
4.2.2	<i>Estructura brazo</i>	68
4.3	Manual de seguridad de operación del prototipo.....	71
4.3.1	<i>Medidas de seguridad en la fase del diseño</i>	71
4.3.2	<i>Riesgo mecánico</i>	71
4.3.3	<i>Riesgo físico</i>	72
4.3.4	<i>Riesgo químico</i>	73
4.3.5	<i>Equipos de protección individual</i>	73
4.3.6	<i>Señalización</i>	73
4.3.7	<i>Check list del prototipo de brazo robótico soldado</i>	74
4.4	Calibración del sistema.....	74
4.4.1	<i>Soldadora</i>	74
4.4.2	<i>Brazo Robot</i>	76
4.5	Puesta en marcha	76
4.5.1	<i>Módulo didáctico</i>	76
4.5.2	<i>Computador</i>	77
4.6	Apagado del sistema	78
4.6.1	<i>Apagado de la soldadora</i>	79
4.6.2	<i>Apagado del Computador</i>	79
4.7	Prácticas de aplicación.....	80
4.7.1	<i>Guía práctica de laboratorio</i>	80
4.8	Plan de mantenimiento del prototipo.....	80
4.8.1	<i>Mantenimiento Preventivo</i>	80
4.8.2	<i>Mantenimiento Correctivo</i>	80
5.	COSTOS	
5.1	Costos directos.....	81
5.1.1	<i>Costos de elementos mecánicos</i>	81

5.1.2	<i>Costos de elementos eléctricos</i>	82
5.1.3	<i>Costos de elementos electrónicos</i>	82
5.1.4	<i>Costos de maquinaria</i>	83
5.1.5	<i>Costos de transporte</i>	83
5.1.6	<i>Costos directos totales</i>	83
5.2	Costos indirectos.....	84
5.3	Costo total.....	84
5.4	Costos de reposición	84
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Conclusiones.....	86
6.2	Recomendaciones	86

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Clasificación de los robots industriales 6
2	Robot antropomórfico..... 6
3	Tipos de articulaciones: a) rotacional, b) lineal..... 9
4	Elementos que forman un eslabón de un robot manipulador 9
5	Espacio de trabajo de un robot industrial 9
6	Base, hombro y codo de un robot industrial..... 10
7	Cinemática directa de brazo robótico 10
8	Motores paso a paso 12
9	Elementos eléctricos 13
10	Driver de potencia 14
11	Linux CNC 17
12	Grados de libertad de un brazo robótico..... 18
13	Soldadura GMAW 19
14	Brazo robótico soldador marca FANUC 21
15	Brazo robótico soldador marca ABB..... 21
16	Brazo robótico soldador marca KUKA 21
17	Brazo robótico soldador marca MOTOMAN..... 21
18	Brazo robótico soldador marca EPSON 22
19	Diseño electrónico puerto paralelo 25
20	Esquema del diagrama electrónico 26
21	Diseño del circuito eléctrico 28
22	Soldadora GMAW 29
23	Esquema del brazo 29
24	Base sin sistema de transmisión 30
25	Base con sistema de transmisión 31
26	Hombro sin sistema de transmisión..... 31
27	Hombro con sistema de transmisión..... 32
28	Brazo sin sistema de transmisión..... 32
29	Brazo con sistema de transmisión 33
30	Codo sin sistema de transmisión 33
31	Codo con sistema de transmisión 34
32	Antebrazo sin sistema de transmisión 34
33	Antebrazo con sistema de transmisión 35
34	Muñeca sin sistema de transmisión 35
35	Muñeca con sistema de transmisión 36
36	Análisis estático tensión del engranaje motriz módulo 1,5 38
37	Análisis estático tensión del engranaje conducido módulo 1,5 39
38	Análisis estático tensión del engranaje motriz módulo 1 39
39	Análisis estático tensión del engranaje conducido módulo 1 40

40	Diseño del sistema de transmisión.....	40
41	Análisis estático de tensión de los ejes conductor reductor.....	41
42	Factor de seguridad de los ejes conductor reductor.....	41
43	Análisis estático de tensión de los ejes conducido reductor.....	42
44	Factor de seguridad de los ejes conducido reductor.....	42
45	Análisis estático de tensión del eje conductor.....	43
46	Factor de seguridad del eje conductor.....	43
47	Análisis estático de tensión del eje conducido.....	44
48	Factor de seguridad del eje conducido.....	44
49	Diagrama de instalación.....	45
50	Piezas fundidas.....	47
51	Centro de mecanizado Bridgeport VMC 800.....	47
52	Partes mecanizadas en aluminio que conforman la base.....	48
53	Partes mecanizadas en aluminio que conforman el hombro.....	48
54	Partes mecanizadas en aluminio que conforman el brazo.....	49
55	Partes mecanizadas en aluminio que conforman el antebrazo.....	49
56	Impresora da Vinci 1.0A.....	50
57	Engranajes impresos.....	50
58	Ejes.....	51
59	Montaje del brazo robótico soldador.....	51
60	Montaje de la estructura mesa del prototipo.....	52
61	Montaje del brazo robótico soldador en la mesa.....	52
62	Comunicación entre el prototipo de brazo soldador y ordenador.....	53
63	Diseño mesa 1.....	55
64	Diseño mesa 2.....	55
65	Desplazamiento estático.....	56
66	Tensión axial y de flexión en el límite superior estático.....	56
67	Factor de seguridad.....	57
68	Análisis estático tensión del brazo.....	57
69	Desplazamiento estático del brazo.....	58
70	Análisis estático tensión del codo.....	58
71	Desplazamiento estático del codo.....	59
72	Análisis estático tensión de la orquilla lateral.....	59
73	Desplazamiento estático de la orquilla lateral.....	60
74	Análisis estático tensión de la orquilla.....	60
75	Desplazamiento estático de la orquilla lateral.....	61
76	Menú de aplicaciones.....	63
77	CNC.....	63
78	Linux CNC.....	64
79	Ventana configuración Linux CNC.....	64
80	Ventana de simulación.....	65
81	Archivos guardados de programación.....	66
82	Restaurar ejes.....	66
83	Simulación.....	67

84	Ensamble de la estructura base	68
85	Ensamble del brazo parte mecánica.....	70
86	Ensamble del brazo parte eléctrica, electrónica.....	70
87	Señales de advertencia o precaución	73
88	Señales de obligación	74
89	Rodillo de alimentación.....	74
90	Regulador de velocidad de suministro de alambre	75
91	Perilla de control.....	75
92	Perilla de dosificación	75
93	Calibración de ejes.....	76
94	Conectores 110 V y 220 V	76
95	Interruptor general	77
96	ON/Reset Computador	77
97	Encendido de la pantalla de visualización	78
98	Encendido de la soldadura	78
99	Cierre de sesión	79
100	Apagado del sistema	79

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Clasificación de robots 4
2	Clasificación de robots industriales 5
3	Propiedades mecánicas del acero estructural..... 14
4	Propiedades mecánicas del acero de transmisión 15
5	Propiedades mecánicas del aluminio 15
6	Propiedades mecánicas del acrílico 15
7	Propiedades mecánicas del plástico ABS 16
8	Características de brazos robóticos soldadores 22
9	Selección de la mejor alternativa..... 23
10	Elementos para la conexión electrónica del brazo robótico soldador..... 24
11	Elementos para la conexión eléctrica del brazo robótico soldador..... 26
12	Datos del elemento base 31
13	Datos del elemento hombro 32
14	Datos del elemento brazo 33
15	Datos del elemento codo..... 34
16	Datos del elemento antebrazo 35
17	Datos del elemento muñeca 36
18	Datos cálculo de engranajes 37
19	Alternativas para la selección del material 46
20	Criterios para la selección del material..... 46
21	Costos directos, elementos mecánicos..... 81
22	Costos directos, elementos eléctricos 82
23	Costos directos, elementos electrónicos 83
24	Costos directos, maquinaria..... 83
25	Costos directos, transporte..... 83
26	Costos directos totales 83
27	Costos indirectos..... 84
28	Costos totales 84
29	Costos de reposición..... 85

LISTA DE ABREVIACIONES

PC	Computadora Personal
CPU	Unidad de Procesador Central
GMAW	Gas Metal Arc Welding
ISO	Organización Internacional de Estandarización
RRR	Robot Antropomórfico
RRP	Robot Esférico / Robot Scara
RPP	Robot Cilíndrico
PPP	Robot Cartesiano
TTL	Lógico Transistor Transistor
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
CNC	Control Numérico Computarizado
NIST	Instituto Nacional de Standard y Tecnología
EMC	Compatibilidad Electromagnética
HAL	Capa de Abstracción de Hardware
PLC	Controlador Lógico Programable
CAD	Dibujo Asistido por Computadora
CAM	Manufactura Asistida por Computadora
RAM	Memoria de Acceso Aleatorio
ON	Encendido
OFF	Apagado

LISTA DE ANEXOS

- A** Tabla de engranajes normalizados, numero de dientes y ejes.
- B** Check list.
- C** Guía práctica de laboratorio.
- D** Plan de mantenimiento del prototipo.

RESUMEN

La elaboración de un prototipo de brazo robótico soldador es una de las formas más creativas de promover la enseñanza a los estudiantes e inducir al conocimiento de los robots industriales. Para su diseño y construcción se consultó los diferentes modelos de brazos robóticos soldadores existentes en el mercado obteniendo la mejor alternativa de guía y por su necesaria precisión trabaja con 6 grados de libertad.

El prototipo consta de elementos mecánicos en su diseño, utilizando en su mayoría el aluminio para la estructura, donde sus piezas fueron realizadas en un centro de mecanizado. Los sistemas de transmisión de engranajes perteneciente a cada una de las partes del brazo fueron construidos en plástico ABS, y los ejes elaborados en acero de transmisión. Los elementos eléctricos y electrónicos indispensables para el funcionamiento, consta de varios aparatos uno de ellos los motores paso a paso que darán el movimiento a las articulaciones del brazo y la interfaz puerto paralelo que servirá de conexión entre el prototipo y la computadora.

Para ordenar los movimientos deseados se utilizó la programación por medio de códigos G a través del programa Linux CNC. El brazo trabaja con dos fuentes de alimentación, una de 110 V para el accionamiento del prototipo y otra de 220 V para el funcionamiento de la soldadora.

Antes de empezar con el manejo del prototipo se debe hacer un reconocimiento del funcionamiento, de todos los elementos que lo conforman como mecánicos, eléctricos y electrónicos y que estos dos últimos estén siempre energizados.

ABSTRACT

The development of a prototype of a robotic arm welder is one of the most educational promoting teaching students and induce the knowledge of industrial robots ways. For its design and construction were consulted different robotic arms welders on the market models getting the best alternative of guide and by its required accuracy works with 6 degrees of freedom.

The prototype consists of mechanical elements in its design, mostly using the aluminum structure, where his pieces were performed in a machining center. The gear transmission belonging to each of the parts of the arm were built in ABS plastic, and made of steel transmission shafts. Indispensable for operating electric and electronic elements, consists of several devices one of them stepping motors that give movement to the joints of the arm and the interface parallel port which will serve as a connection between the prototype and the computer.

To order the desired movements was by G codes programming through program Linux CNC. Arm works with two power supplies, one of 110 V for the operation of the prototype and other 220 V for the operation of the welding machine.

Before you start with the handling of the prototype must be recognition of performance, all the elements that comprise it as mechanical, electrical and electronic, and these last two are always energized.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La Ingeniería Industrial se fundamenta en los sistemas de gestión integrados de: producción, automatización, control de calidad, seguridad industrial etc. Consciente de su responsabilidad en el desarrollo socio-económico de la región y el país, la Escuela de Ingeniería industrial busca enmarcar a sus profesionales en la realidad actual y proyección futura de la demanda productiva nacional, que sean personas capaces de formar parte del desarrollo tecnológico que vive nuestro país en el área industrial.

Una de las formas más efectivas para fomentar la enseñanza de las nuevas tecnologías que están funcionando en nuestro país y el mundo, es la creación de módulos didácticos los cuales ayuden al estudiante a relacionarse con las máquinas y equipos que ya se encuentran en varias empresas de nuestro país.

En el Ecuador uno de los problemas que afectan a la mayoría de las empresas y a las instituciones educativas son las formas tradicionales que se utiliza, lo que hace que su automatización tienda a ser mínima, dando como resultado que nuestro país se convierta en uno de los menos tecnológicos, al no utilizarlos como ente importante dentro de sus instalaciones. La universidad como ente de progreso social de la ciudad y de la región requiere de máquinas como éstas para que los estudiantes incrementen sus habilidades acerca de esta área de conocimiento tecnológico.

1.2 Justificación

El desarrollo del proyecto se encaminará a la aplicación de la Robótica y a la gran necesidad de la utilización de robots industriales, debidos a la importancia que ocupan en el sector industrial como herramientas clave para la evolución de las empresas. Hoy en día, la automatización de los procesos industriales es realizada a través de robots y esto trae como consecuencia la competitividad, productividad, eficiencia y rentabilidad de las empresas en el país.

Actualmente la mayoría de sistemas de soldadura son operados manualmente, y aunque estas aplicaciones se llevan a cabo en ambientes controlados puede ser una práctica peligrosa y dañina para la salud del soldador presentando riesgos al sistema respiratorio o nervioso, además de los que el operador está expuesto como lesiones y quemaduras.

El proyecto se enfoca a la construcción de un prototipo de brazo robótico soldador que tiene semejanza con el brazo humano, compuesto de una base la cual puede rotar alrededor de su eje de giro, y posee articulaciones que permiten la conexión y movimiento relativo entre dos eslabones consecutivos del robot. La utilización de un sistema automático para soldar permitirá que se construyan piezas en menor tiempo, con una precisión mayor que una persona, además de alejar a los operarios de este trabajo que es peligroso y nocivo.

La Escuela de Ingeniería Industrial de la Facultad de Mecánica de la Escuela de la Superior Politécnica de Chimborazo, como ente formador de profesionales brinda los conocimientos necesarios a los estudiantes en las áreas de automatización, electricidad y electrónica industrial, resistencia de materiales, procesos de manufactura y demás asignaturas de la ingeniería lo cual capacita al estudiante para poder realizar este tipo de proyectos, demostrando la capacidad profesional de sus estudiantes.

El motivo de la investigación es desarrollar un brazo robótico con la finalidad de impulsar a la elaboración de proyectos enfocados a la robótica y que servirá de plataforma para la elaboración de proyectos futuros de la misma clase, que constituyen la base fundamental para el avance educativo. Debido a estas razones se ve la necesidad de elaborar prototipo de robot soldador el cual ayudara al estudiante a programar y contralor ha dicho proceso en tiempo real.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Elaborar un prototipo de brazo robótico industrial didáctico automatizado para proceso de soldadura GMAW.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar y seleccionar los controladores, sistemas eléctricos y electrónicos.

- Seleccionar los componentes apropiados basándonos en el modelo del prototipo.
- Implementar el prototipo de brazo robótico.
- Verificar el correcto funcionamiento del prototipo, de acuerdo a parámetros técnicos y de su programación.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Robótica

La robótica es una rama de la tecnología que se encarga de investigar y desarrollar una clase exclusiva de sistemas mecánicos, denominados robots manipuladores, diseñados para realizar una variedad de aplicaciones como son: industriales, científicas, domésticas y comerciales.

La robótica combina diferentes disciplinas que permite involucrar una gran cantidad de áreas del conocimiento tales como matemáticas, física, electrónica, computación, entre otras, aun cuando la robótica es un área especialmente experimental, todos sus resultados se mantienen con rigor científico y hoy en día, se ha convertido en un área estratégica y clave para todo país en desarrollo. (Reyes Cortes, 2011)

2.1.1 *Tipos de robots.* En la actualidad existe una gran diversidad de robots con diferentes estructuras geométricas y mecánicas que definen su funcionalidad y aplicación, estos están clasificados como se indica en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de robots

Clasificación de robots		
Móviles	Terrestres: ruedas, patas.	
	Submarinos, aéreos espaciales.	
Humanoides	Diseño complejo	
Industriales	Brazos mecánicos	Robots manipuladores

Fuente: Robótica, control de robots manipuladores

2.1.2 *Robots industriales.* Oficialmente la ISO (International Organization for Standardization) lo define como un manipulador multipropósitos, reprogramable y controlado automáticamente en tres o más ejes. Los robots industriales conocidos como brazos robots o brazos mecánicos, por su similitud al brazo humano, se componen de una base la cual puede rotar 360° alrededor de su eje de giro, además de que poseen articulaciones para hombro y codo.

En el extremo final del codo está ubicada la muñeca que le permite orientar a la herramienta final. Este robot tiene como finalidad trabajar en un proceso industrial, sus principales aplicaciones se encuentran en fundidoras, fábricas ensambladoras automotrices, procesos de soldadura de arco, etc. (Rivas, 2000)

2.1.2.1 Componentes de los Robots Industriales. En forma general un robot industrial está formado por los siguientes elementos:

- *Articulaciones.* Formadas por motores pasos a paso o servomotores, permiten la realización de movimientos al robot de tipo rotacional o lineal.
- *Actuadores.* Suministra la señal a las articulaciones para producir movimiento, pueden ser servomotores, elementos neumáticos, eléctricos o hidráulicos.
- *Sensores.* Proporcionan información del estado interno del robot.
- *Sistema mecánico.* Consiste en una secuencia de eslabones rígidos de metal conectados en cadena abierta por medio de articulaciones. (Reyes Cortes, 2011)
- *Consola de control.* Se compone de un sistema electrónico y es la encargada de suministrar energía al robot para su movimiento recibe las señales y envía comandos a la fuente de potencia controlada. (Iñigo Madrigal, y otros, 2002)

2.1.3 Tipos de robots industriales. Según la estructura de los robots industriales, estos pueden tener diferentes combinaciones de articulaciones rotacionales y prismáticas dando origen a diversos tipos de robots. A continuación se presentan la clasificación de robots industriales con base a las 3 primeras articulaciones de robots.

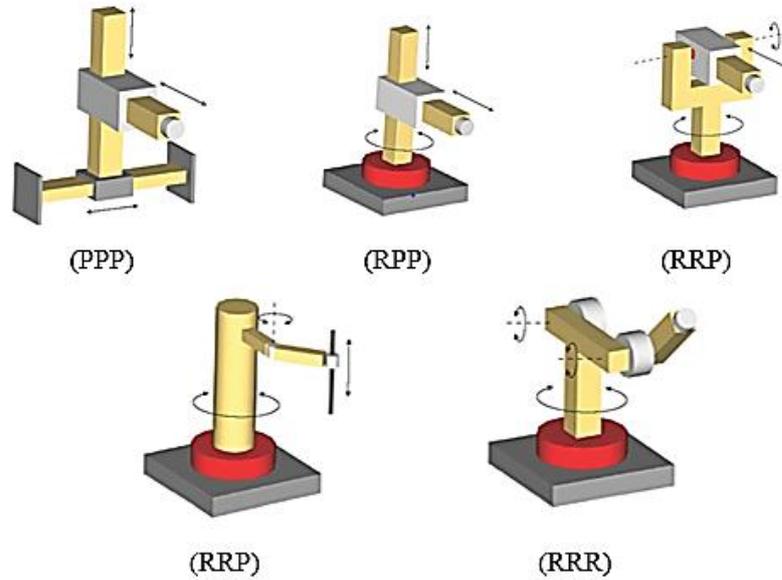
Tabla 2. Clasificación de robots industriales

Robot	Características
Antropomórfico (RRR)	3 articulaciones rotacionales
Scara (RRP)	2 articulaciones rotacionales y 1 prismática
Esférico (RRP)	2 articulaciones rotacionales y 1 prismática
Cilíndrico (RPP)	1 articulaciones rotacional y 2 prismáticas
Cartesiano (PPP)	3 articulaciones prismáticas

Fuente: Robótica, control de robots manipuladores

En la figura 1 se muestra la clasificación de las 5 configuraciones industriales.

Figura 1. Clasificación de los robots industriales

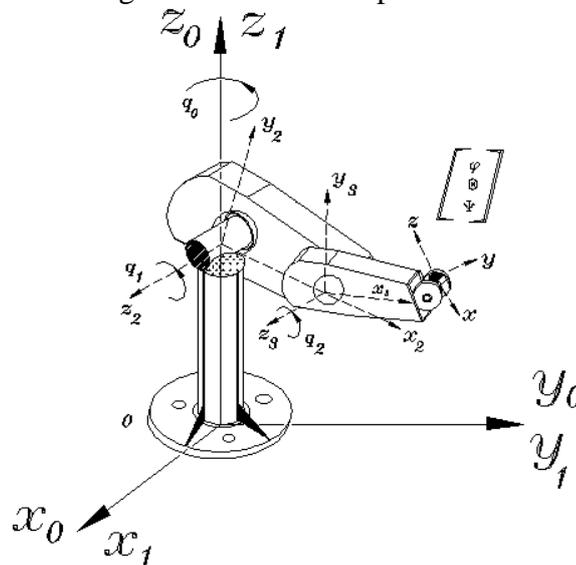


Fuente: Robótica, control de robots manipuladores

La gran mayoría de los robots industriales tienen la configuración antropomórfica (RRR) debido a que presentan mayor versatilidad en sus movimientos.

2.1.3.1 Robot antropomórfico (RRR). El robot antropomórfico presenta mayor habilidad en su espacio de trabajo, ya que sus eslabones están unidos por tres articulaciones rotacionales.

Figura 2. Robot antropomórfico



Fuente: Robótica, control de robots manipuladores

El sistema de referencia cartesiano fijo Σ_0 se encuentra sobre la base del robot, donde el eje z_0 coincide con el eje de rotación de la articulación de la base z_1 .

El eje z_0 es ortogonal a los ejes de rotación z_2 y z_3 del hombro y codo, respectivamente. Los ejes de z_2 y z_3 son paralelos entre sí, tal y como se muestra en la figura 2. (Reyes Cortes, 2011)

2.1.4 *Tecnología de robots.* Por medio de la construcción de sus articulaciones y eslabones, y a través de la tecnología se pueden clasificar en robots tradicionales y robots de transmisión directa.

2.1.4.1 *Robots tradicionales.* Estos robots utilizan los sistemas de engranes, para modificar las características de velocidad y aumentar su potencia, también desempeñan una función importante en la construcción y diseño de robots manipuladores, sin embargo, estos sistemas aumentan notablemente el fenómeno de fricción y cascabeleo.

2.1.4.2 *Robots de transmisión directa.* Los robots de transmisión directa funcionan por medio de servomotores, el rotor del motor está directamente acoplado al eslabón, lo que no produce pérdidas de energía y su fenómeno de fricción es muy bajo como ocurre en los sistemas de engrane. (Rivas, 2000)

2.2 Cinemática y dinámica de Robots Industriales

2.2.1 *Cinemática de Robots Industriales.* La cinemática trata el movimiento de un sistema mecánico sin tomar en cuenta las fuerzas que lo producen.

En un espacio tridimensional la posición del robot requiere de 6 coordenadas: 3 coordenadas para su posición cartesiana del extremo final del robot (x,y,z) y 3 coordenadas para la orientación de la herramienta de trabajo expresadas por los ángulos de Euler (θ,ϕ,ψ) , esta relación entre coordenadas se denomina cinemática directa.

2.2.1.1 *Cinemática directa de robots manipuladores.* Es el estudio del movimiento del robot sin tomar en cuenta las fuerzas que lo producen, con respecto a un sistema de referencia cartesiano fijo $\Sigma(x,y,z)$ relacionando la dependencia que existe entre las coordenadas articulares o generalizadas $q \in R^n$.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \theta \\ \phi \\ \psi \end{bmatrix} = f_R(q)$$

Sus parámetros geométricos y las coordenadas cartesianas $[x, y, z]^T \in R^3$ y de orientación $[\theta, \phi, \psi]^T \in R^3$ del extremo final del robot, en esta definición f_R es una función continua en el vector de posiciones o desplazamiento articular $q \in R^n$, n representa el número de grados de libertad y la dimensión del vector de posiciones o desplazamiento articular, m es la dimensión de la función vectorial $f_R(q) = [x, y, z, \theta, \phi, \psi]^T \in R^6$. (Iñigo Madrigal, y otros, 2002)

2.2.1.2 *Cinemática directa (ángulos para encontrar posición).* Se conoce la longitud de cada eslabón y el ángulo de cada articulación.

Se busca la posición de cualquier punto (coordenadas con respecto a la base).

2.2.1.3 *Cinemática inversa.* Es la que determina el movimiento para que el extremo final del brazo se coloque en la posición deseada. Es un problema no lineal que relaciona las coordenadas articulares en función de las coordenadas cartesianas. Este problema representa la solución inversa de la ecuación, dada la posición cartesiana y la orientación de la herramienta colocada en el extremo final del robot.

$$q = f_R^{-1}(x, y, z, \theta, \phi, \psi) \quad (1)$$

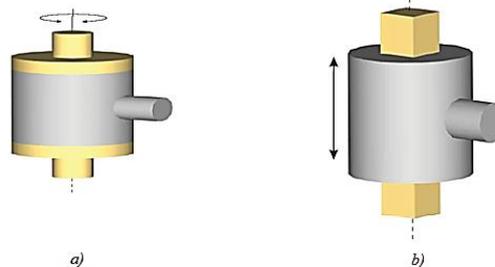
La estructura matemática de la cinemática es generalmente no lineal en las variables de estado de posición, compuesta por funciones trigonométricas y parámetros del robot como son las longitudes. (Reyes Cortes, 2011)

2.2.1.4 *Cinemática Inversa (posición para encontrar ángulos).* Se conoce la longitud de cada eslabón y la posición de cualquier punto (coordenadas con respecto a la base). Se busca el ángulo de cada articulación necesarios para obtener la posición.

2.2.2 *Morfología del robot.* La morfología es la descripción de componentes, partes y estructura mecánica, entre ellas tenemos las siguientes.

2.2.2.1 *Articulaciones (joints).* Pueden producir movimiento rotacional o giratorio denominadas articulaciones rotacionales, y producir movimiento lineal que se denomina articulaciones prismáticas o lineales.

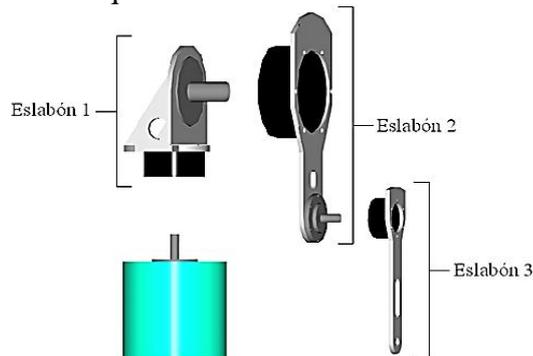
Figura 3. Tipos de articulaciones: a) rotacional, b) lineal



Fuente: Robótica, control de robots manipuladores

2.2.2.2 *Eslabón (link).* Está formado por una barra metálica acoplada mecánicamente al rotor y al estator de la siguiente articulación.

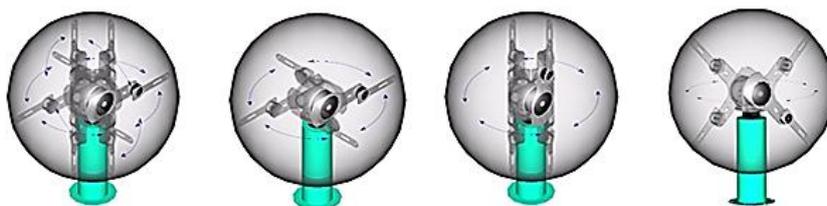
Figura 4. Elementos que forman un eslabón de un robot manipulador



Fuente: Robótica, control de robots manipuladores

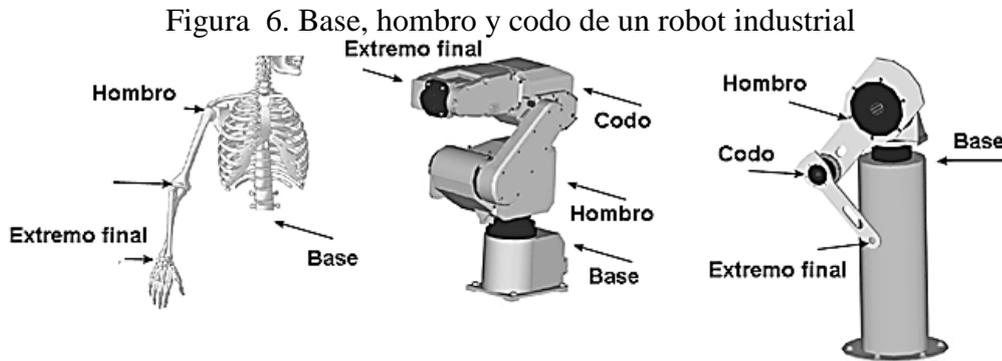
2.2.2.3 *Espacio de trabajo (workspace).* Es el espacio o lugar donde el robot puede realizar todos sus posibles movimientos, está determinado por la geometría del robot y la naturaleza de las articulaciones (lineales y rotacionales).

Figura 5. Espacio de trabajo de un robot industrial



Fuente: Robótica, control de robots manipuladores

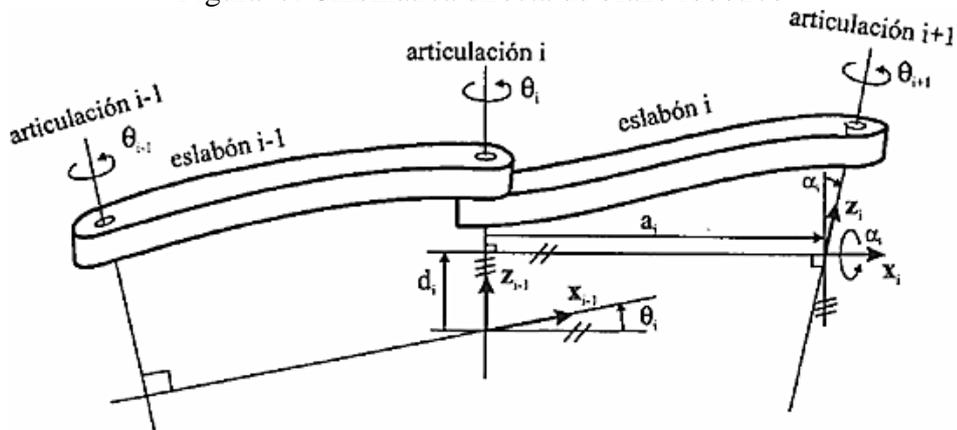
2.2.2.4 *Extremo final (end-effector)*. Es la parte terminal o final del último eslabón, destinado a colocar la herramienta adecuada para una aplicación específica, la posición del extremo final se representa por $[x, y, z]^T$ y su orientación se denota a través de los ángulos Euler. La figura 6 muestra la analogía entre un brazo humano y un brazo robot.



Fuente: Robótica, control de robots manipuladores

2.2.2.5 *Transformaciones homogéneas*. Es una herramienta matemática que abarca operaciones de rotación y traslación dentro de una matriz de 4x4 para transformar un vector expresado en coordenadas homogéneas desde un sistema de coordenadas hasta otro sistema de coordenadas. (Iñigo Madrigal, y otros, 2002)

Figura 7. Cinemática directa de brazo robótico



Fuente: Fundamentos de robótica Arrau, 2005

2.2.3 *Dinámica de robots industriales*. Es una parte de la física que relaciona el movimiento de un robot con las fuerzas que lo producen. El modelo dinámico de un robot manipulador de n grados en coordenadas generalizadas o articulares representa los fenómenos propios de su naturaleza dinámica no lineal, multivariable y fuertemente acoplada.

En diversas aplicaciones resulta fundamental conocer varios aspectos del robot, entre ellos el valor numérico de cada uno de los parámetros de los eslabones del robot, tales como: masa, centros de masa, momentos de inercia, y coeficientes de fricción. (Reyes Cortes, 2011)

2.3 Elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos utilizados en el prototipo

2.3.1 Elementos mecánicos. Son las piezas de diferentes materiales que forman los elementos de la máquina, los elementos a utilizar son los siguientes:

- *Ejes.* Es una pieza que se usa en todas las piezas giratorias de las máquinas para transmitir movimiento de giro y torque de una ubicación a otra. (Norton, 2011)
- *El perno.* El perno es una pieza de sujeción hecho comúnmente de acero o hierro, con un extremo roscado, una parte lisa y el otro extremo una cabeza redonda, hexagonal o según lo requiera. (Zapata, 2013)
- *Los remaches.* El remache es un elemento de fijación utilizado para unir permanentemente dos o más piezas. Consta de un tubo cilíndrico (el vástago) y a su extremo dispone de una cabeza.
- *Las chavetas.* La chaveta es una pieza de sección rectangular o cuadrada que se ubica entre dos elementos que deben ser unidos para evitar que se provoquen deslizamientos de una pieza sobre la otra.
- *Los engranajes.* Son ruedas dentadas que sirven para transmitir torque y velocidad angular por medio del movimiento circular. (Norton, 2011)
- *Rodamientos.* Los rodamientos son utilizados para reducir la fricción entre el eje y las piezas conectadas a éste por medio de rodadura. (Zapata, 2013)

2.3.2 Elementos eléctricos. Son los componentes empleados para construir un circuito eléctrico.

Los elementos eléctricos a utilizar en el prototipo son los siguientes:

- *Motores paso a paso.* “Son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° ”. (La web de Android)

Figura 8. Motores paso a paso



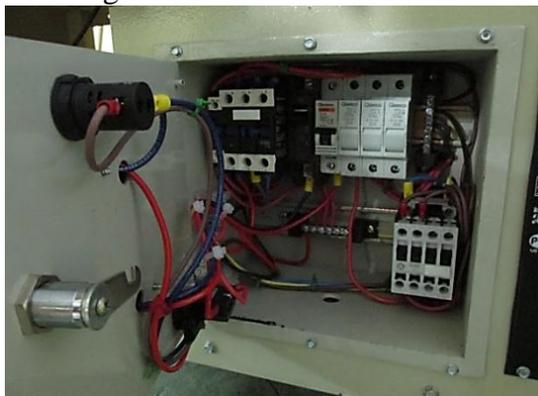
Fuente: Autores

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

- *Pulsadores.* Sirven para dar el funcionamiento y desactivar al prototipo, entre ellos está el pulsador On/Off que da el encendido o apagado, y el pulsador de emergencia que desactiva todo en caso de existir alguna falla.
- *Breaker.* Sirve para proteger el circuito eléctrico, dando paso a la energía o interrumpiéndolo, para evitar daños en los componentes.
- *Contactores.* Se utilizan en la conexión y desconexión de circuitos de elevada tensión y potencia con la posibilidad de ser operado a distancia, tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable y otra inestable.
- *Conductor eléctrico.* Es el elemento en el cual circula el paso de la corriente eléctrica a sus componentes.

- *Fusibles.* Los fusibles son dispositivos de seguridad que sirven para proteger el circuito y los equipos que lo integren, ante el aumento de tensión en la corriente su punto vulnerable colapsa. (Condumex, 2009)
- *Base porta fusible.* Elemento donde se instalan los fusibles para su funcionamiento.
- *Luz piloto.* Es una luz que indica la existencia de una condición normal de un sistema o de un dispositivo.
- *Relé.* Es un interruptor accionado por un electroimán y un interruptor de contactos.

Figura 9. Elementos eléctricos



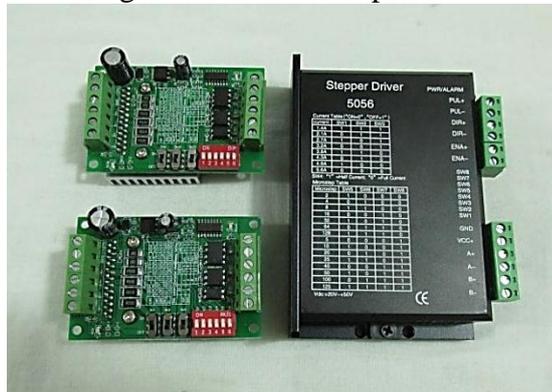
Fuente: Autores

2.3.3 *Elementos electrónicos.* Son los que forman parte de un circuito electrónico los elementos electrónicos a utilizar en el prototipo de brazo robótico soldador son los siguientes:

- *Driver de potencia.* El driver es el encargado de suministrar energía para cambiar la dirección de la corriente y flujo magnético en las fases del motor. Controla la corriente sobre el bobinado, minimizar el tiempo de subida y bajada de la corriente tanto como sea posible.
- *Controlador.* Es el que regula cada uno de los movimientos del manipulador, las acciones, cálculos y procesado de la información. El controlador recibe y envía señales a otras máquinas y almacena programas.

- *Interfaz puerto paralelo.* Esta interfaz permite controlar dispositivos y obtener datos directamente desde el puerto paralelo de la PC. Posee 4 entradas del tipo TTL para toma de datos y 8 salidas del tipo TTL para la salida de datos. (La web de Android)

Figura 10. Driver de potencia



Fuente: Autores

2.4 Análisis de los materiales

2.4.1 Acero estructural. El Acero estructural es uno de los materiales básicos utilizados en la construcción de estructuras. Se produce en una amplia gama de formas y grados, lo que permite una gran flexibilidad en su uso. (Cházaro, y otros, 2008)

Tabla 3. Propiedades mecánicas del acero estructural

Propiedades mecánicas (Acero ASTM A36)	
Dureza	64-76 HR
Esfuerzo de fluencia	250 MPa
Resistencia a la tracción	450-500 MPa
Elongación mínimo	21 % en 50 mm
Módulo de elasticidad	200 GPa
Densidad	7850 kg/m ³
Alargamiento	20 %
Disminuye las propiedades mecánicas a	200 °C

Fuente: <http://goo.gl/W1r1aC>

2.4.2 Acero de transmisión. Se presenta en condición de calibrado (acabado en frío). Debido a su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para componentes de maquinaria. (Sumitec)

Tabla 4. Propiedades mecánicas del acero de transmisión

Propiedades mecánicas (Acero AISI-SAE 1018)	
Dureza	71 HR
Esfuerzo de fluencia	370 MPa
Esfuerzo máximo	440 MPa
Resistencia a la tracción	15% en 50 mm
Módulo de elasticidad	205 GPa
Densidad	7870 kg/m ³
Alargamiento	15 %

Fuente: <http://goo.gl/JiY7Hk>

2.4.3 *Aluminio.* Su baja densidad y su alta resistencia a la corrosión hacen que el aluminio sea uno de los materiales más útiles en la ingeniería de materiales. Es de fácil mecanización y su costo es barato siendo uno de los materiales más cotizados después del acero.

Tabla 5. Propiedades mecánicas del aluminio

Propiedades mecánicas (Aluminio 1050-H18)	
Dureza	43 HB
Resistencia a la tracción	150-450 MPa
Módulo de elasticidad	69-73 GPa
Densidad	2700 kg/m ³
Disminuye las propiedades mecánicas a	100-150 °C
Alargamiento	5,65 %

Fuente: <http://goo.gl/8Ex9nB>

2.4.4 *Acrílico.* Es una de las variaciones del plástico, es el más transparente y sus usos son varios desde la utilización en construcciones, en el embazado de alimentos hasta en las señaléticas, su resistencia es mayor que el vidrio y su peso menor que éste convirtiéndolo en un material bastante popular hasta en la actualidad.

Tabla 6. Propiedades mecánicas del acrílico

Propiedades mecánicas (Acrílico)	
Dureza al rayado	103 HB
Resistencia a la tracción	72 MPa
Módulo de elasticidad	2,41-3,10 GPa
Densidad	1190 kg/m ³

Fuente: <http://goo.gl/7S5I4n>

2.4.5 Plástico ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno). Es un plástico muy resistente al impacto, se le suele llamar plástico de ingeniería porque su elaboración y procesamiento es algo más compleja que en los plásticos comunes. El ABS es un polímero compuesto por tres bloques, acrilonitrilo, butadieno y estireno esta mezcla de propiedades hace que el producto final sea de gran aplicación en la fabricación de equipos pesados y aparatos electrónicos. (Escobar, 2010)

Tabla 7. Propiedades mecánicas del plástico ABS

Propiedades mecánicas (Acero ASTM A36)	
Dureza	8 HR
Flexión de tensión	65 MPa
Módulo de elasticidad	2,3 GPa
Densidad	1050 kg/m ³
Alargamiento de rotura	20%

Fuente: <http://goo.gl/QJnqjD>

2.5 Componentes de Hardware y Software

2.5.1 Componentes de Hardware. Toda la parte tangible que compone el prototipo de brazo robótico soldador se lo denomina hardware. El hardware del prototipo está constituido por la estructura base, soldadora y el brazo robótico compuesto por base, hombro, brazo, codo, antebrazo y muñeca.

2.5.2 Componentes de Software. Se lo denomina por ser la parte intangible del robot y viene ser su programación. El programa que se utilizó en el prototipo de brazo robótico soldador es el Linux CNC y la programación es por medio de códigos G.

2.5.2.1 Linux CNC. Es una aplicación de control CNC no propietario, libre bajo la Licencia General de uso público.

Linux CNC puede:

- Controlar maquinas herramienta tales como fresadoras, tornos, robots tipo puma o scara y cualquier otro tipo de máquina de hasta 9 ejes con movimiento simultaneo.
- Interpreta códigos G.

- Planear los movimientos en tiempo real con análisis de instrucción siguiente.
- Configurar operaciones de electrónica de máquina de bajo nivel como sensores y controladores para motores.
- Configurar distintos tipos de máquinas con un asistente de configuración rápida.
- Realizar configuraciones basadas en lógica de escalera ya que posee un PLC integrado.
- Operar servomecanismos con retroalimentación del lazo cerrado por software.
- Operar en lazo abierto con motores a pasos o “paso-servos”.

Linux CNC no puede:

- Proveer capacidades de dibujo (CAD - Dibujo asistido por computadora).
- Proveer generación de código G a partir de dibujos (CAM – Manufactura asistida por computadora).
- Ejecutar un programa de longitud infinita (Transmisión DNC serial), ya que necesita tener el código G cargado en memoria RAM antes de su ejecución. (Gonzalez, 2013)

Figura 11. Linux CNC



Fuente: Manual uso y programación Linux CNC

2.5.2.2 *Lenguaje de programación G (Códigos G).* El lenguaje utilizado en las máquinas CNC, se efectúa mediante el lenguaje llamado G y M.

Es un lenguaje de programación vectorial mediante el que se describen acciones simples y entidades geométricas sencillas como segmentos de recta y arcos de circunferencia junto con sus parámetros de maquinado, velocidades de husillo y de avance de herramienta. El nombre G y M viene del hecho de que el programa está constituido por instrucciones Generales y Misceláneas. (Díaz, 2010)

2.6 Grados de libertad de Robots industriales

Figura 12. Grados de libertad de un brazo robótico



Fuente: <http://goo.gl/Tzh43G>

Los grados de libertad son el número de movimientos independientes que se puede realizar cada articulación. Un grado de libertad es la capacidad de moverse a lo largo de un eje produciendo un movimiento lineal, o de rotar a lo largo del eje produciendo un movimiento rotacional. Para el brazo robótico soldador por su necesaria precisión trabaja con 6 grados de libertad.

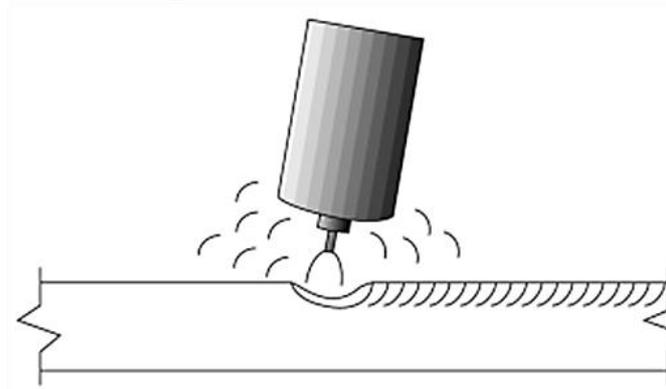
2.7 Descripción del funcionamiento de robots soldadores

2.7.1 *La soldadura.* La soldadura es el proceso de unión de materiales unidos por la fusión de los mismos formando una única pieza debido al calentamiento de la alta temperatura de la soldadora, con o sin la aplicación de presión, y con o sin el uso de metal de aportación.

2.7.2 *Soldadura GMAW.* La soldadura GMAW para soldar utiliza un hilo (alambre) que se alimenta automáticamente, a una velocidad constante, como un electrodo.

Se genera un arco entre el metal base y el hilo, y el calentamiento resultante funde éste proporcionando la unión de las placas, se utiliza un gas protector como se puede observar en la figura 13.

Figura 13. Soldadura GMAW



Fuente: Manual de soldadura GMAW (MIG-MAG), Rowe-Jeffus

Las ventajas de la soldadura GMAW son las siguientes:

- Es fácil de aprender.
- Puede producir soldadura de mejor calidad, más rápido y mejor consistencia que las convencionales de electrodo recubierto.
- Se puede utilizar baja corriente para soldar metales finos.
- El pequeño baño de fusión se controla fácilmente.
- Casi todas las carrocerías de automóviles fabricadas con acero se pueden soldar con el sistema GMAW, con un tipo común de hilo para soldar.
- Son fáciles de iniciar en el punto correcto porque el hilo no se energiza hasta que se pulsa el gatillo de la pistola. (Rowe, y otros, 2008)

2.7.3 Soldadura robotizada. La soldadura robotizada es el uso de herramientas programables mecanizadas (robots), con las que se lleva a cabo un proceso de soldadura completamente automático. Generalmente, la soldadura robotizada se usa para la soldadura por puntos y la soldadura por arco se aplica en producción a gran escala.

2.7.4 *Ventajas de la soldadura robotizada.* En el entorno industrial los sistemas robotizados de soldadura por arco MIG tienen mayor ventaja respecto a la soldadura manual.

- Las celdas robotizadas pueden trabajar las 24 horas del día y los 365 días del año sin descanso, enfermedades o vacaciones.
- Los robots antropomórficos son altamente maniobrables y pueden ejecutar soldaduras complejas y en puntos difíciles de alcanzar sin originar problemas de salud o de seguridad.
- La soldadura robotizada reduce los riesgos de someter al soldador a humos tóxicos y metales fundidos originados por el arco.
- Una vez programado correctamente, un robot puede realizar con precisión la misma soldadura una y otra vez con calidad consistente, y los diferentes programas pueden ser almacenados en memorias para ser utilizados según se los requiera.
- Los sistemas de soldadura robotizada mejoran la eficiencia, hacen soldadura de calidad consistente e incrementan la producción. (EK Roboter S.A., 2009)

2.8 Análisis comparativo entre alternativas existentes, elección de la mejor alternativa

En el mercado existen diferentes compañías que construyen brazos robóticos soldadores de los cuales se puede apoyar en su diseño para la construcción.

Entre las compañías más importantes que diseñan y construyen robots industriales se encuentran FANUC, ABB, KUKA, MOTOMAN, EPSON; cuentan con una gran diversidad de modelos de robots para diferentes aplicaciones industriales. (Reyes Cortes, 2011)

A continuación se muestran los diferentes tipos de brazos robóticos soldadores de las marcas FANUC, ABB, KUKA, MOTOMAN, EPSON.

Figura 14. Brazo robótico soldador marca FANUC



Fuente: <https://goo.gl/Dcseb8>

Figura 15. Brazo robótico soldador marca ABB



Fuente: <http://goo.gl/YMCJOV>

Figura 16. Brazo robótico soldador marca KUKA



Fuente: <http://goo.gl/FFThlS>

Figura 17. Brazo robótico soldador marca MOTOMAN



Fuente: <http://goo.gl/1guQWC>

Figura 18. Brazo robótico soldador marca EPSON



Fuente: <http://goo.gl/1kwzbn>

Tabla 8. Características de brazos robóticos soldadores

Marca	Características
Kuka	KUKA ofrece a un atractivo precio soluciones óptimas especialmente concebidas para la soldadura al arco. Gracias a su carga útil de 16 kg y sus alcances de hasta 3,1 m pueden, con el equipo de soldadura, soldar cordones de gran dificultad. (Roboter, Kuka, 2010)
Abb	El robot soldador ABB IRB 1600ID es especializado para la soldadura por arco, con una carga máxima de 4 kg con un alcance de 1,5m. (Robotics, Abb, 2011)
Fanuc	El robot soldador FANUC 120iC son convenientes para la soldadura y corte a altas velocidades por ser conducidos por servo-motores, con una carga máxima de 20 kg con un alcance de 1,8m. (Fanuc Robotics, 2011)
Epson	EPSON lanzo al mercado una línea de robots de hasta 6 ejes de alta precisión que pueden ser utilizados a grandes velocidades, estos se encuentran funcionando en distintas empresas eléctricas, alimenticias, automotriz etc. Brindando sus servicios en áreas de ensamble, corte láser, soldadura entre otras aplicaciones por sus movimientos suaves y precisos. (Robots, Epson, 2010)
Motoman	El robot de 6 ejes MOTOMAN MA1400-4 ha sido diseñado con el fin de lograr resultados óptimos en condiciones extremadamente difíciles y en especial para las altas demandas en aplicaciones de soldadura al arco. Con un área de trabajo máxima de 1.434 mm y sus 6 ejes mejora significativamente la calidad de la soldadura. Gracias a estas características es más fácil el acceso a piezas voluminosas y difíciles de acceder. La carga útil que ofrece es 4kg. (Robotics, Yaskawa, 2011)

Fuente: Autores

2.8.1 Selección de la mejor alternativa

Calificación

Alta = 3, media = 2, baja = 1

Tabla 9. Selección de la mejor alternativa

Criterio	Alternativas				
	Fanuc	Abb	Kuka	Motoman	Epson
Accesibilidad de los elementos que integra el brazo.	2	1	2	3	2
Área de trabajo adecuada para la práctica.	3	3	3	3	3
Diseño económico para su construcción.	2	2	2	3	2
Carga útil.	3	3	3	3	3
Calificación.	10	9	10	12	10

Fuente: Autores

La mejor alternativa para seguir un modelo de la construcción del brazo robótico es de la marca MOTOMAN, ya que en ella se puede encontrar diversas opciones para la ayuda del diseño y construcción.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE BRAZO ROBÓTICO SOLDADOR

3.1 Diseño del circuito de control

Para la elaboración del circuito de control se utilizó una computadora convencional de 3GB de memoria RAM y 500 GB de disco, esta computadora es de modelo Pentium 4, en estos modelos existe la interfaz por puerto paralelo para impresoras el cual es una comunicación directa entre actuadores.

En el circuito de control constan los elementos que dan el movimiento al brazo por medio de los motores a accionar.

En la tabla se indican los componentes que se utilizaron para este diseño.

Tabla 10. Elementos para la conexión electrónica del brazo robótico soldador

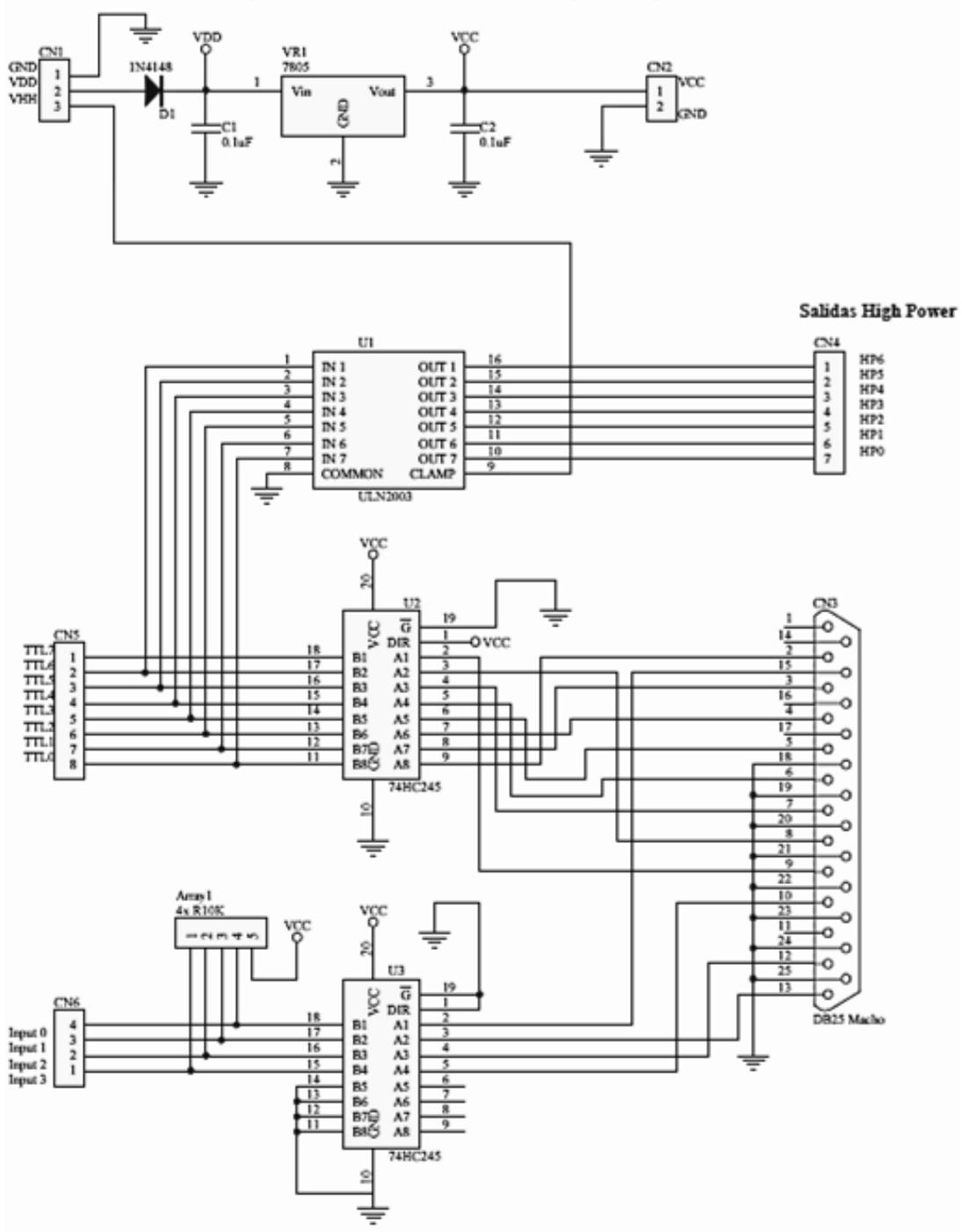
Elementos electrónicos	Imagen	Características
Cables		Para conexión de los componentes electrónicos
Interfaz puerto paralelo		4 entradas y 8 salidas del tipo TTL.
Drivers		2 Drivers de 5,6A. 3 Drivers de 3,5A.
Motores paso a paso		2 Motores de 5N. 3 Motores de 1,25N.
Computadora		3GB de memoria RAM y 500 GB de disco.

Fuente: Autores

La siguiente figura indica el diagrama de la interfaz puerto paralelo.

Es importante tener en cuenta que las salidas TTL entregan una tensión de 5 V, así mismo las entradas TTL deben ser alimentadas con una tensión máxima de 5 V o de lo contrario el chip resultará dañado.

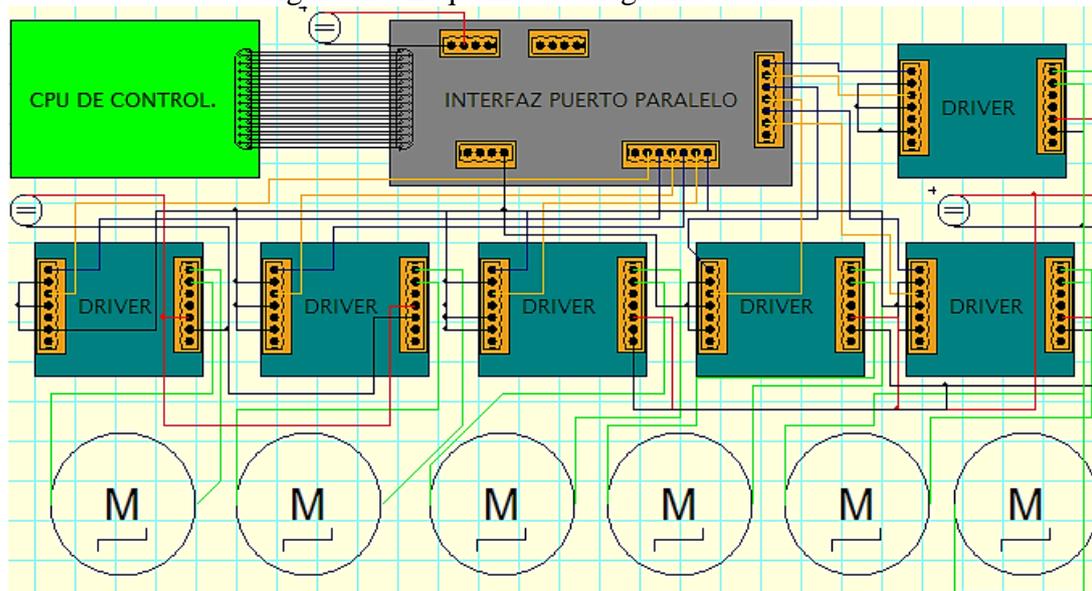
Figura 19. Diseño electrónico puerto paralelo



Fuente: <http://goo.gl/UsOcfj>

A continuación se observa el esquema del diagrama electrónico del prototipo de brazo robótico soldador.

Figura 20. Esquema del diagrama electrónico



Fuente: Autores

3.2 Diseño del circuito eléctrico

3.2.1 *Diseño eléctrico.* En el diseño eléctrico interviene todos los elementos eléctricos indispensables para el funcionamiento del brazo robótico soldador.

El voltaje de alimentación en el brazo es de 110 V para todos los componentes eléctricos y 220 V para la soldadora. Los equipos y accesorios eléctricos necesarios para el funcionamiento del brazo robótico soldador se muestra en la tabla de a continuación.

Tabla 11. Elementos para la conexión eléctrica del brazo robótico soldador

Elementos eléctricos	Imagen	Características
Borneras		Conector eléctrico para el cable.
Botonera		On/off, 30 Amperios
Breaker		Breaker 60 ^a Breaker 16 ^a

Fuente: Autores

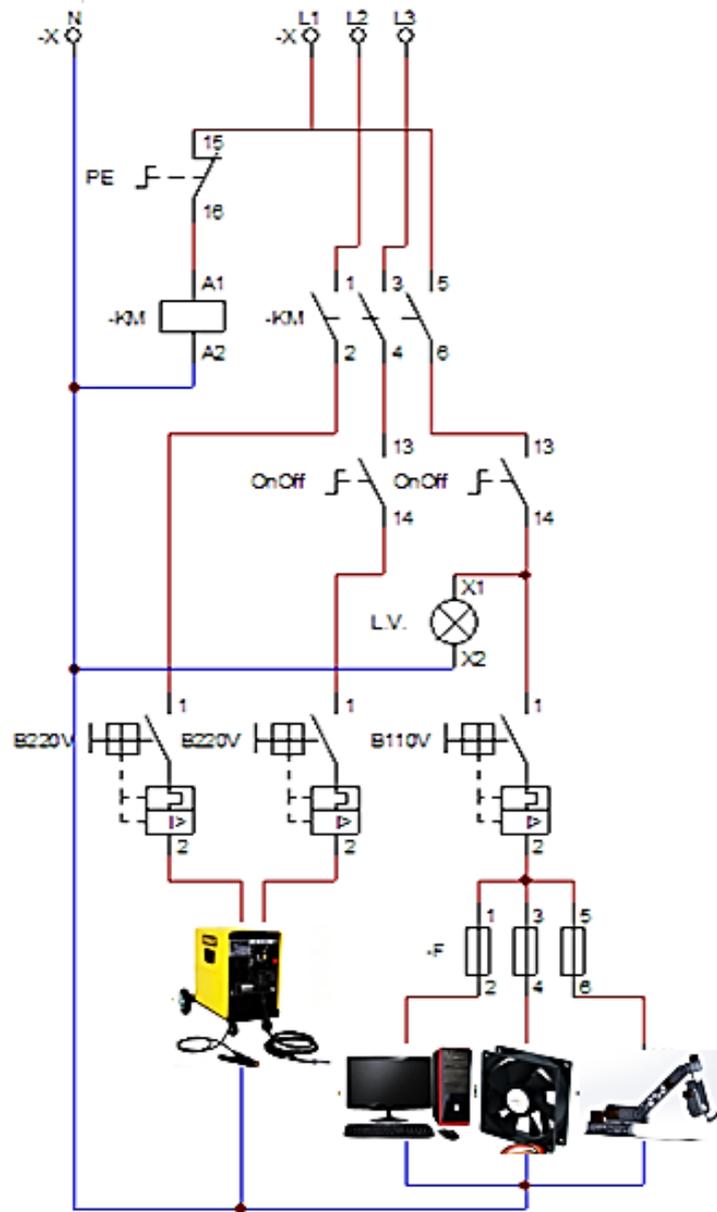
Tabla 11. (Continuación)

Elementos eléctricos	Imagen	Características
Cable flexible		Número 14
Contacto		Contacto 16 A Contacto 50 ^a
Enchufe		Conexión 110 V y 220 V
Fuente		12 y 24 Voltios
Fusible		Fusible 6 A
Porta fusible		Corriente máxima 32 A.
Luces piloto		Luces rojo y verde
Relé		Permite abrir o cerrar el circuito eléctrico.
Riel DIN		Se colocará contactores, breakers y porta fusibles.
Terminal talón		Para cables número 14.
Tomacorriente		Conexión 110 V y 220 V.

Fuente: Autores

El diseño del circuito eléctrico está dado en la siguiente figura.

Figura 21. Diseño del circuito eléctrico



Fuente: Autores

3.2.2 Selección de la Soldadora. La soldadora es uno de los elementos principales en el prototipo. La soldadora VIP M195 seleccionada posee las siguientes características.

- Equipo de soldadura MIG-MAG-MOG (Gas – no gas).
- Tensión de red 230 V – 50/60 Hz.
- Tensión en vacío 20 – 32 V.
- Corriente de soldadura 30 – 145 A.
- Regulaciones 8 posiciones.

- Bobina de hilo (Diámetro 100-200 mm): 0,5 – 5 kg.
- Grado de protección IP 21.

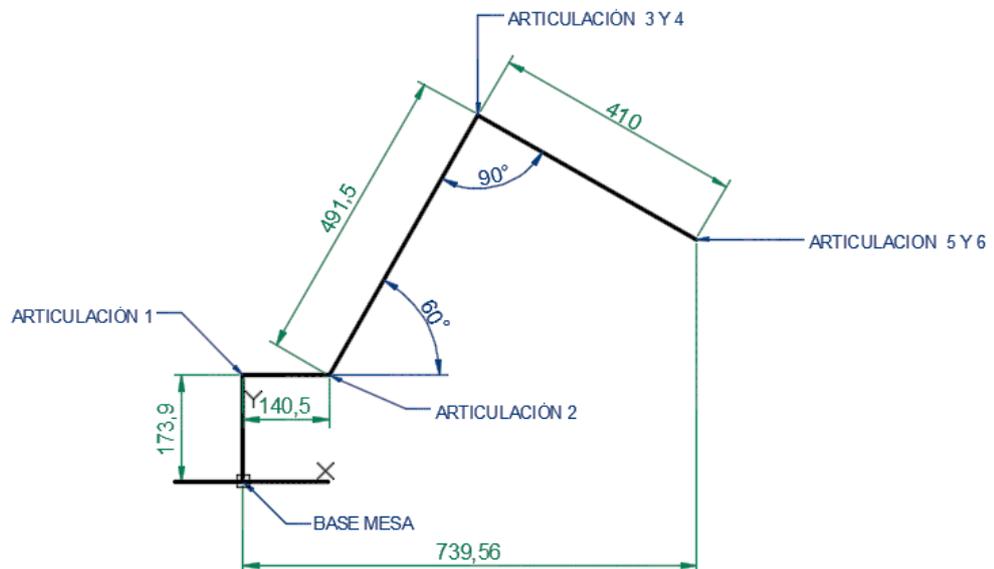
Figura 22. Soldadora GMAW



Fuente: Catálogo Stanley Soldadura de hilo

3.3 Elaboración del esquema del brazo

Figura 23. Esquema del brazo



Fuente: Autores

Para la elaboración del brazo se procede al diseño de un esquema base, en el cual se observa las principales articulaciones que van a conformar el brazo robot y posteriormente determinar el alcance o radio de trabajo con el que cuenta el brazo robótico soldador.

3.3.1 *Elaboración del diseño de las partes que conforman el brazo.* Con la ayuda del programa solidworks se diseñó los diferentes elementos que componen el brazo robótico soldador.

Para el diseño de los elementos se ha considerado varios factores como:

- Peso de los elementos estructurales.
- Resistencia a sometimiento de cargas.
- Alto coeficiente de fricción.

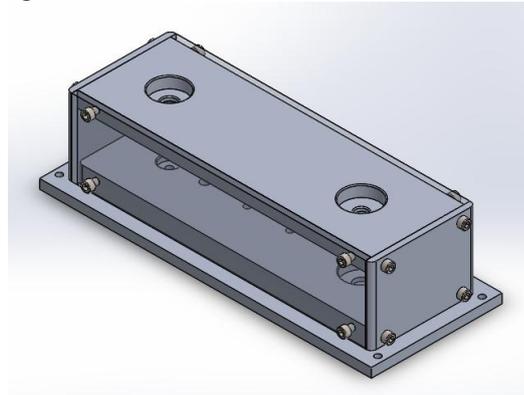
Una vez diseñadas las piezas en solidworks, el programa simula los elementos construidos y da a conocer diferentes detalles que permitan tener un conocimiento más aproximado del resultado final del prototipo.

Por la alta precisión que requiere un brazo robótico soldador; se consideró diseñarlo con 6 grados de libertad, y los elementos a diseñar son: base, hombro, brazo, codo, antebrazo y muñeca.

3.3.1.1 *Base.* La base es el elemento que soportará todo el peso del brazo robótico soldador, por esa razón se ha diseñado 4 placas de aluminio, 1 en su base, 2 en sus extremos y una en la parte superior, para proteger el sistema de transmisión del elemento.

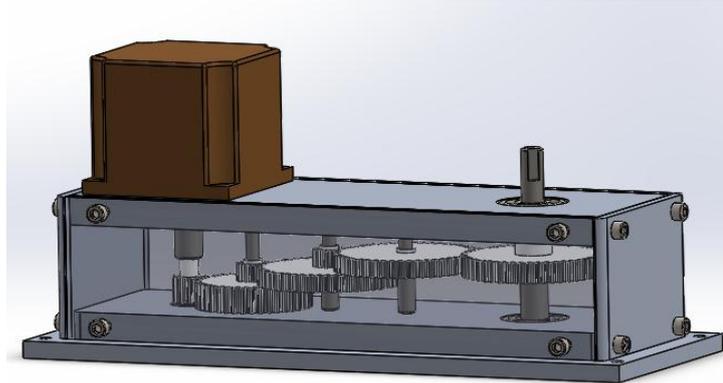
En los otros 2 extremos faltantes las placas están formadas por acrílico, material resistente que permitirá visualizar el funcionamiento del mecanismo de transmisión.

Figura 24. Base sin sistema de transmisión



Fuente: Autores

Figura 25. Base con sistema de transmisión



Fuente: Autores

Tabla 12. Datos del elemento base

Elemento	Masa [g]	Volumen [cm ³]	Área [cm ²]
Base	4356,78	1823,18	3819,35

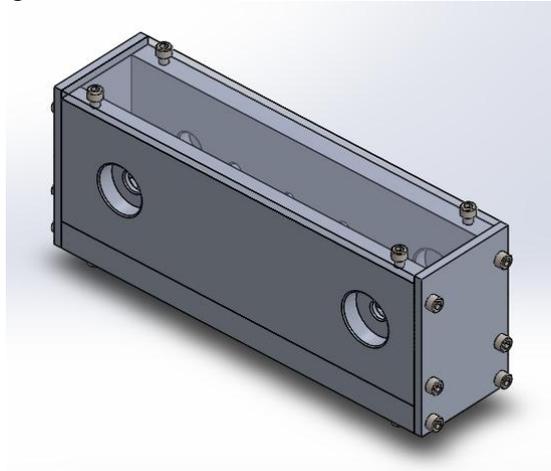
Fuente: Autores

3.3.1.2 Hombro. Este elemento va a continuación del elemento base, conectada por medio de un eje.

Por medio de su sistema de transmisión permitirá al brazo tener un movimiento giratorio en sentido vertical.

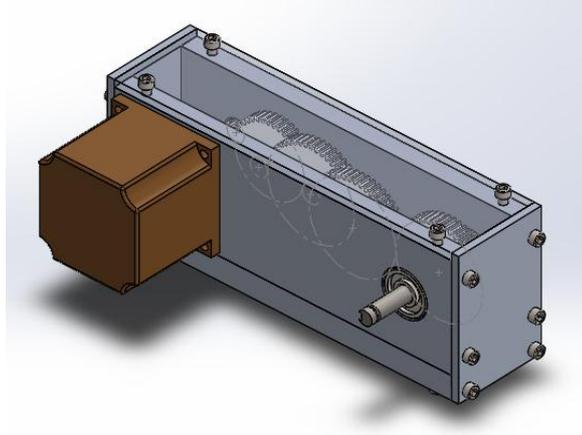
Está diseñado por 5 placas de aluminio, 1 en su base, 4 en sus lados y en la parte superior, esta consta de una placa de acrílico para observar el funcionamiento del mecanismo de transmisión del elemento.

Figura 26. Hombro sin sistema de transmisión



Fuente: Autores

Figura 27. Hombro con sistema de transmisión



Fuente: Autores

Tabla 13. Datos del elemento hombro

Elemento	Masa [g]	Volumen [cm ³]	Área [cm ²]
Hombro	3846,53	1518,33	3099,69

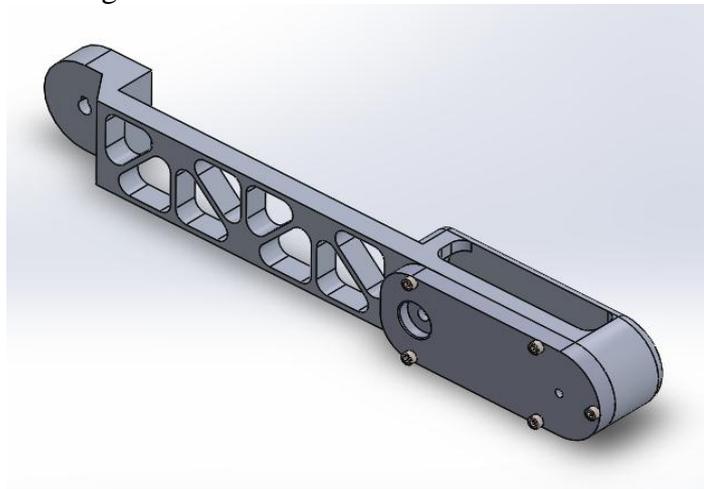
Fuente: Autores

3.3.1.3 Brazo. El brazo es el elemento de mayor longitud, tiene un diseño que aligera su propio peso haciéndolo más liviano, pero resistente para soportar las cargas a levantar.

Todo este elemento está diseñado en aluminio.

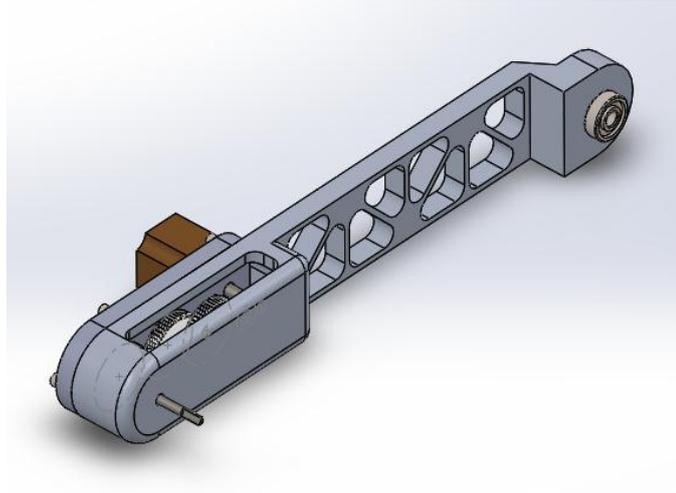
El brazo está compuesto de 2 partes, su elemento principal en donde también se ubica el sistema de transmisión y una tapa que protege dicho sistema.

Figura 28. Brazo sin sistema de transmisión



Fuente: Autores

Figura 29. Brazo con sistema de transmisión



Fuente: Autores

Tabla 14. Datos del elemento brazo

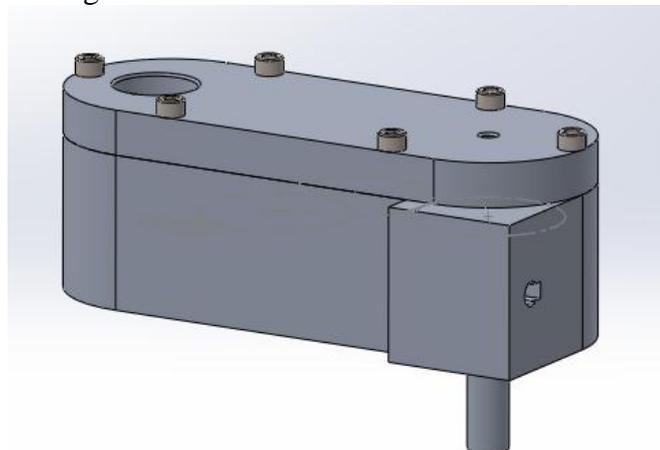
Elemento	Masa [g]	Volumen [cm ³]	Área [cm ²]
Brazo	3919,12	859,52	1911,55

Fuente: Autores

3.3.1.4 *Codo.* Este elemento está continuo al elemento brazo y conectado a este por medio de un eje.

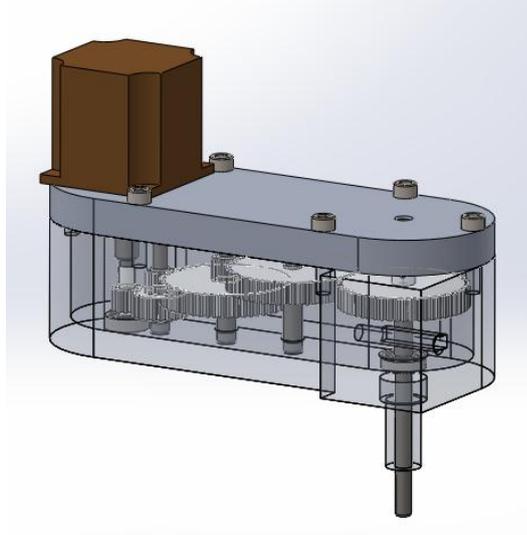
Formado por aluminio y compuesto de dos partes, el cuerpo donde soporta el peso de los elementos mecánicos que en ella van sujetos como el motor paso a paso y su respectivo sistema de transmisión, y la tapa que protege dicho sistema. Como resultado da un movimiento giratorio en sentido horizontal.

Figura 30. Codo sin sistema de transmisión



Fuente: Autores

Figura 31. Codo con sistema de transmisión



Fuente: Autores

Tabla 15. Datos del elemento codo

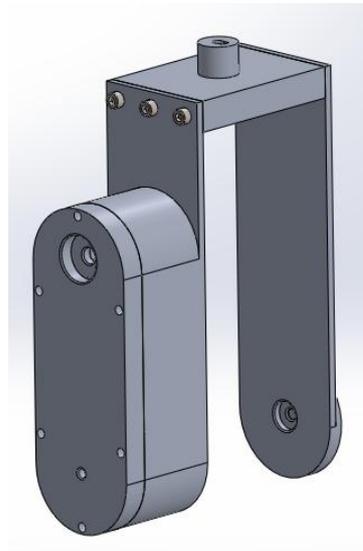
Elemento	Masa [g]	Volumen [cm ³]	Área [cm ²]
Codo	1625,5	614,02	1288,69

Fuente: Autores

3.3.1.5 Antebrazo. Este elemento está formado por plástico ABS, y por Aluminio para soportar el peso de los elementos mecánicos que en el van sujetos.

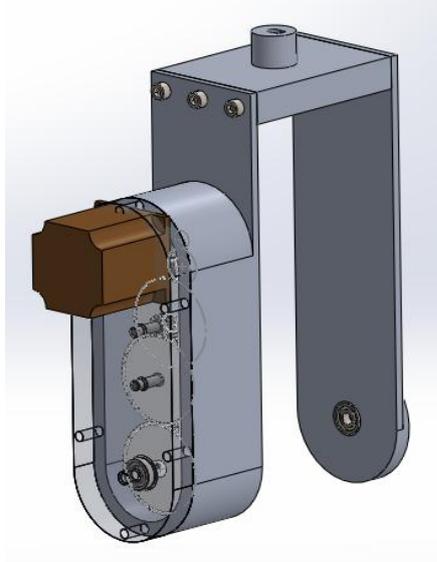
Está sujeto al elemento codo por medio de un eje y como resultado hace mover al elemento muñeca en sentido rotacional.

Figura 32. Antebrazo sin sistema de transmisión



Fuente: Autores

Figura 33. Antebrazo con sistema de transmisión



Fuente: Autores

Tabla 16. Datos del elemento antebrazo

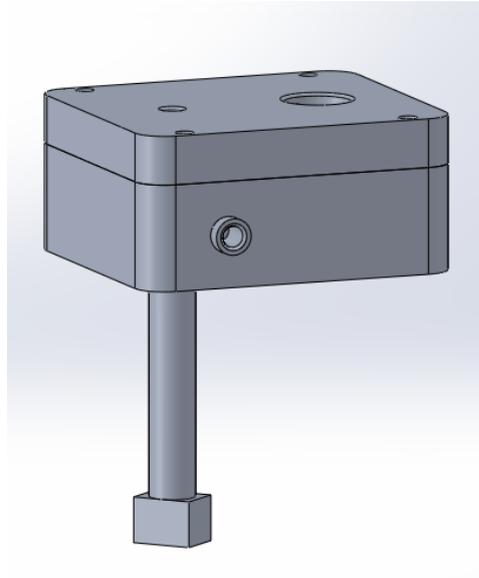
Elemento	Masa [g]	Volumen [cm³]	Área [cm²]
Antebrazo	2376,23	882,61	2084,94

Fuente: Autores

3.3.1.6 Muñeca. Este elemento está formado por plástico ABS, y por Aluminio para soportar el peso de los elementos mecánicos que en el van sujetos.

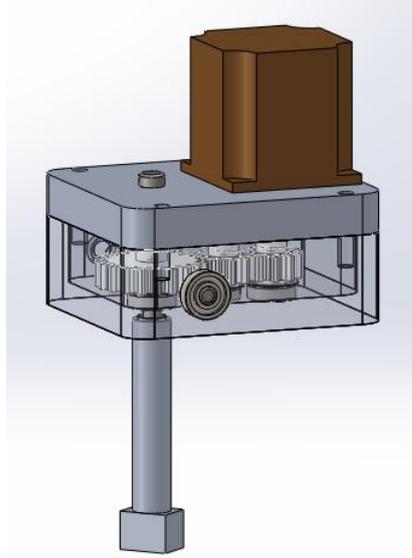
En este elemento ira apoyada la antorcha.

Figura 34. Muñeca sin sistema de transmisión



Fuente: Autores

Figura 35. Muñeca con sistema de transmisión



Fuente: Autores

Tabla 17. Datos del elemento muñeca

Elemento	Masa [g]	Volumen [cm ³]	Área [cm ²]
Muñeca	914,48	341,99	834,46

Fuente: Autores

3.3.2 *Elaboración del sistema de transmisión.* El sistema de transmisión utilizado será por medio de engranajes rectos, por su diseño simple de fácil construcción, mantenimiento y precisión con sus respectivos ejes.

3.3.2.1 *Diseño de engranajes.* La función de este sistema en el brazo es de reducir la velocidad de giro del motor paso a paso, para obtener un mayor torque al momento de ejecutar su funcionamiento.

Los engranajes están normalizados de acuerdo al módulo y paso diametral por ello se diseñó según las normas ISO 53 e ISO 54.

Para la realización de los dientes de cada engranaje se ejecutó la fórmula de relación de velocidades:

$$Z_1 = \frac{N_2 \cdot Z_2}{N_1} \quad (1)$$

N_1 = Velocidad de giro del eje conductor.

Z_1 = Número de dientes de la rueda conductora.

N_2 = Velocidad de giro del eje conducido.

Z_2 = Número de dientes de la rueda conducida.

Una vez calculado el número de dientes de cada engranaje, se procede al cálculo de sus respectivos diámetros y altura de los dientes teniendo en cuenta que el módulo a utilizar en nuestros diseños será de 1 y 1,5.

Diámetro primitivo (D_p):

$$D_p = M * Z \quad (2)$$

Diámetro exterior (D_e):

$$D_e = D_p + 2 * M \quad (3)$$

Diámetro interior (D_i):

$$D_i = D_p - 2 * 1,167 * M \quad (4)$$

Paso (P):

$$P = \pi * M \quad (5)$$

Longitud del diente (b):

$$b = 10 * M \quad (6)$$

Tabla 18. Datos cálculo de engranajes

Nombre	Piñón	Módulo	N° de dientes	D_p [mm]	D_e [mm]	D_i [mm]	b [mm]	Cantidad
Base.	1	1,5	10	15	18	11,50	15	3
	2	1,5	50	75	78	71,50	15	2
	3	1,5	40	60	63	56,50	15	2
Hombro.	1	1,5	10	15	18	11,50	15	3
	2	1,5	50	75	78	71,50	15	2
	3	1,5	40	60	63	56,50	15	2

Tabla 18. (Continuación)

Brazo	1	1	11	11	13	8,66	10	3
	2	1	22	22	24	19,66	10	1
	3	1	55	55	57	52,66	10	3
Codo.	1	1	11	11	13	8,66	10	3
	2	1	22	22	24	19,66	10	1
	3	1	55	55	57	52,66	10	3
Antebrazo.	1	1	11	11	13	8,66	10	3
	2	1	22	22	24	19,66	10	1
	3	1	55	55	57	52,66	10	3
Muñeca.	1	1	11	11	13	8,66	10	3
	2	1	22	22	24	19,66	10	1
	3	1	55	55	57	52,66	10	3

Fuente: Autores

D_p = Diámetro primitivo.

D_e = Diámetro exterior.

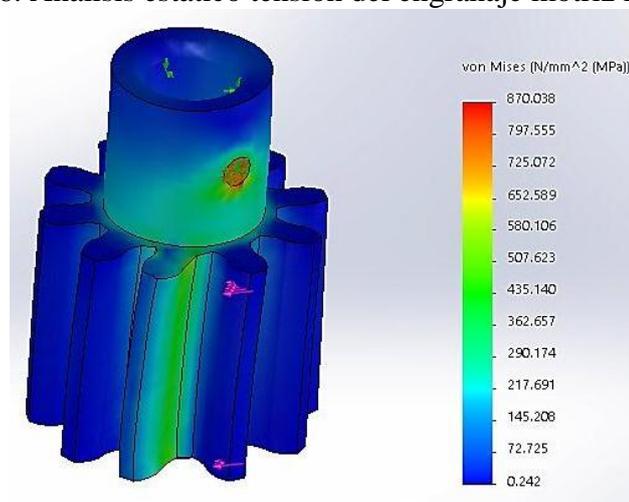
D_i = Diámetro interior.

b = Longitud del diente.

El diseño de los engranajes fue realizado en solidworks, programa que permite tener una facilidad de construcción y simulación de las cargas que estos pueden soportar.

- Cálculo de tensión en los engranajes recto motriz del sistema de transmisión de los elementos base y hombro.

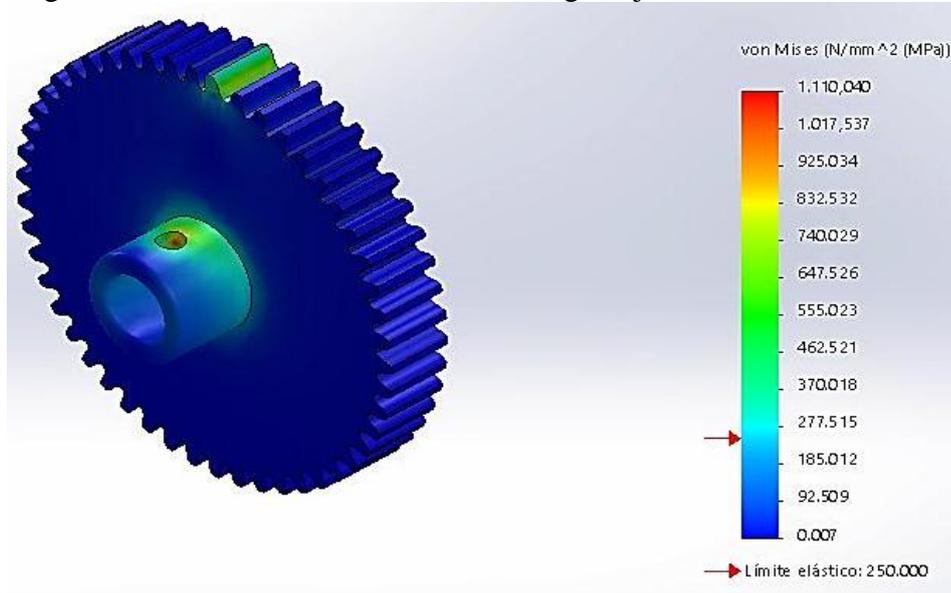
Figura 36. Análisis estático tensión del engranaje motriz módulo 1,5



Fuente: Autores

- Cálculo de tensión en los engranajes recto conducido del sistema de transmisión de los elementos base y hombro.

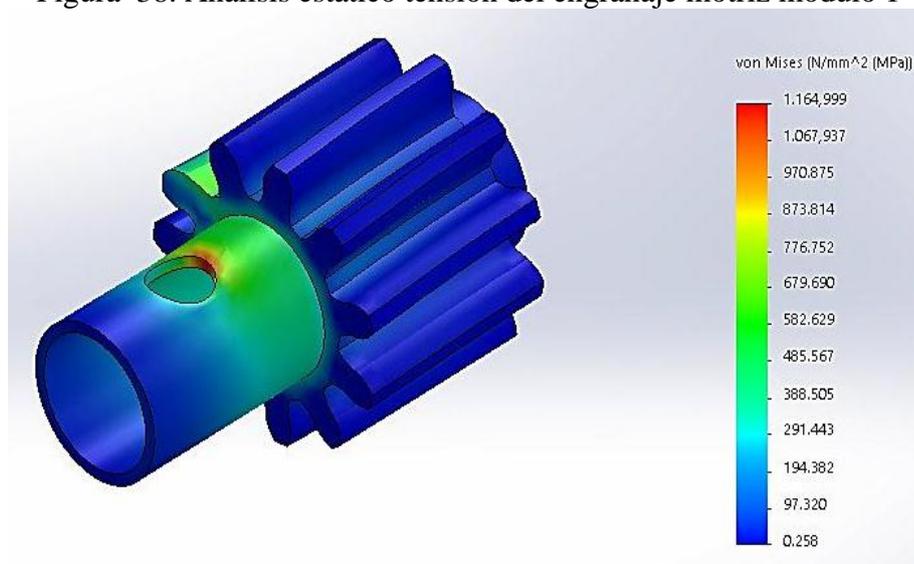
Figura 37. Análisis estático tensión del engranaje conducido módulo 1,5



Fuente: Autores

- Cálculo de tensión en los engranajes recto motriz del sistema de transmisión de los elementos brazo, antebrazo, codo y muñeca.

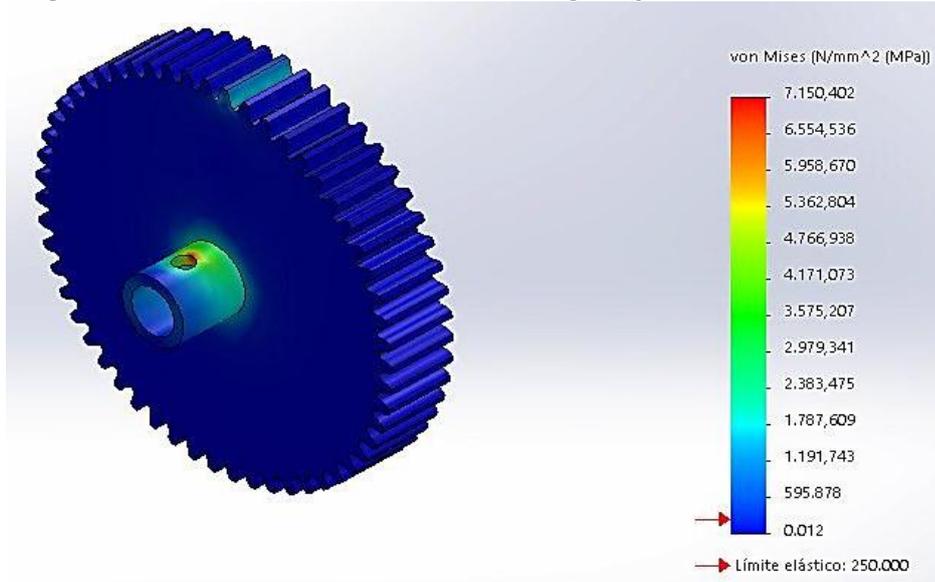
Figura 38. Análisis estático tensión del engranaje motriz módulo 1



Fuente: Autores

- Cálculo de tensión en los engranajes recto conducido del sistema de transmisión de los elementos brazo, antebrazo, codo y muñeca.

Figura 39. Análisis estático tensión del engranaje conducido módulo 1

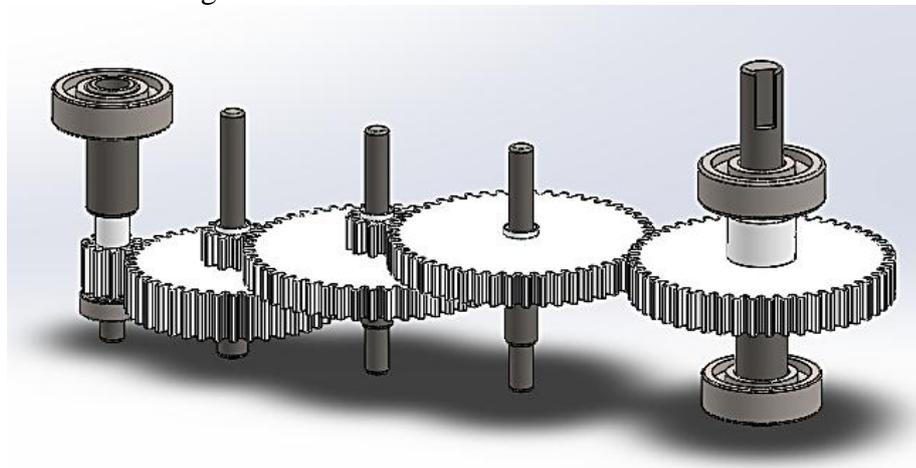


Fuente: Autores

3.3.2.2 *Diseño de los ejes.* Para el diseño de los ejes se toma en cuenta los siguientes parámetros:

- Se deben considerar tanto los esfuerzos como las deflexiones.
- Para minimizar los esfuerzos, la longitud del eje debe mantenerse tan corta como sea posible.
- Por medio de tablas de engranajes normalizados se realizó el cálculo del diámetro de los ejes. (Ver anexo A)

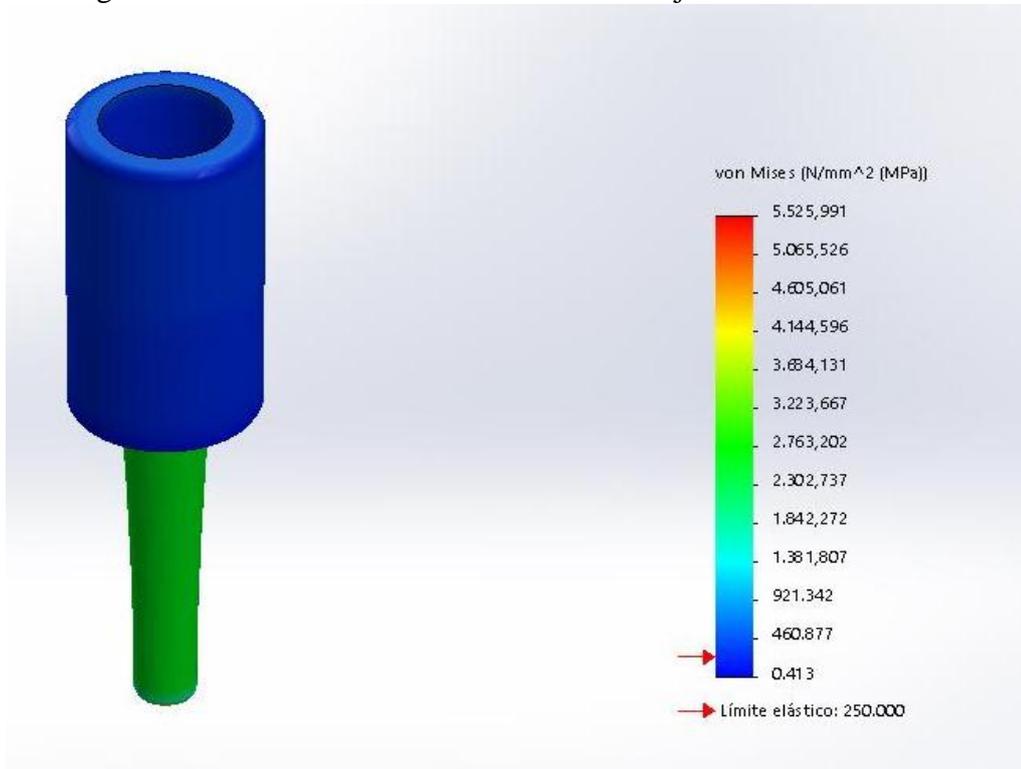
Figura 40. Diseño del sistema de transmisión



Fuente: Autores

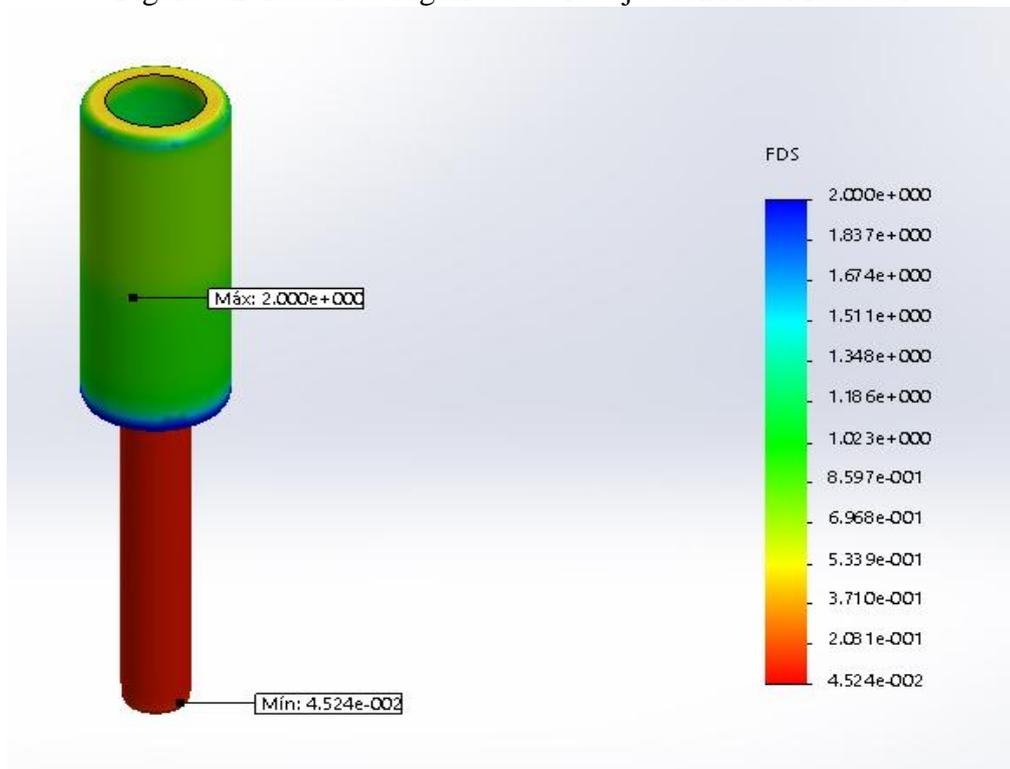
- Cálculo del factor de seguridad y tensión en los ejes conductor reductor.

Figura 41. Análisis estático de tensión de los ejes conductor reductor



Fuente: Autores

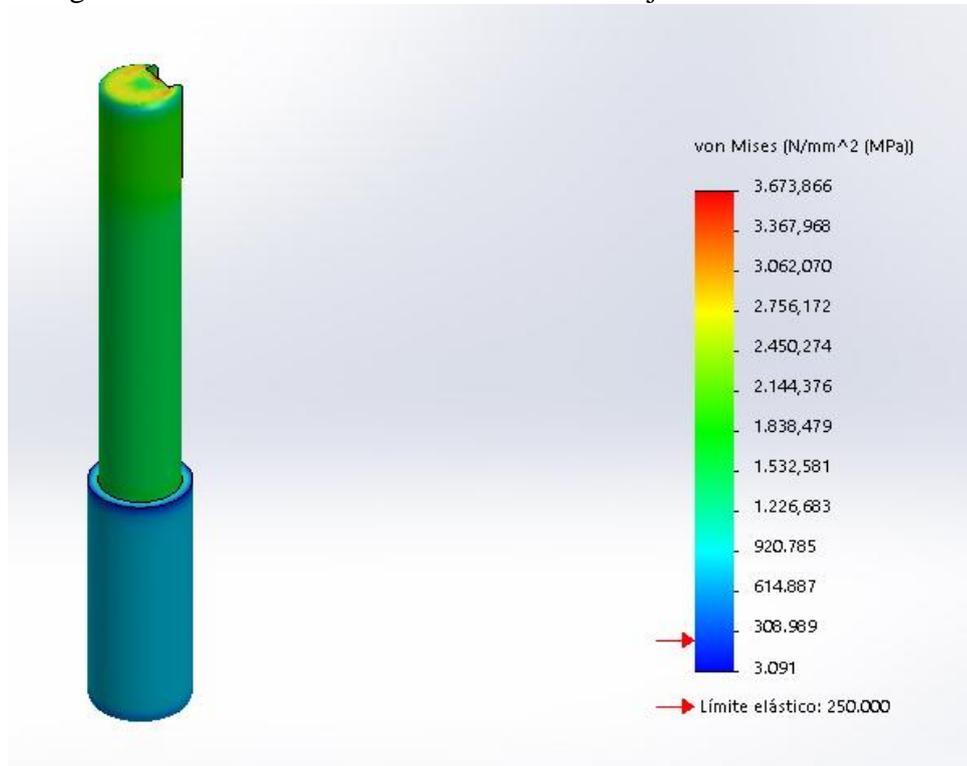
Figura 42. Factor de seguridad de los ejes conductor reductor



Fuente: Autores

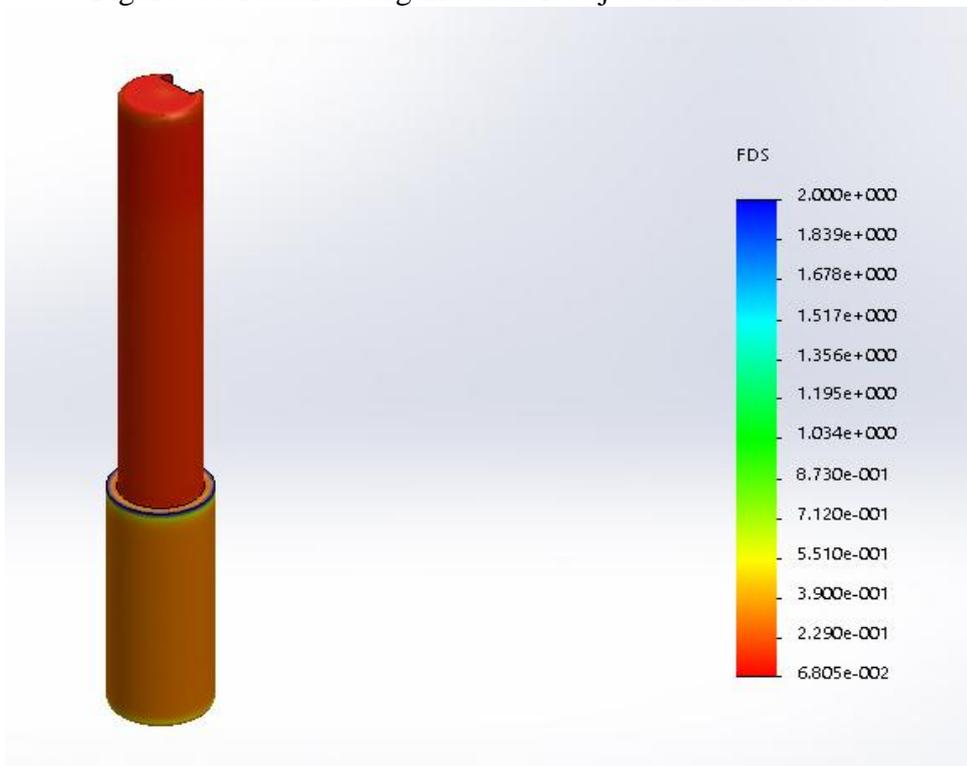
- Cálculo del factor de seguridad y tensión en los ejes conducido reductor.

Figura 43. Análisis estático de tensión de los ejes conducido reductor



Fuente: Autores

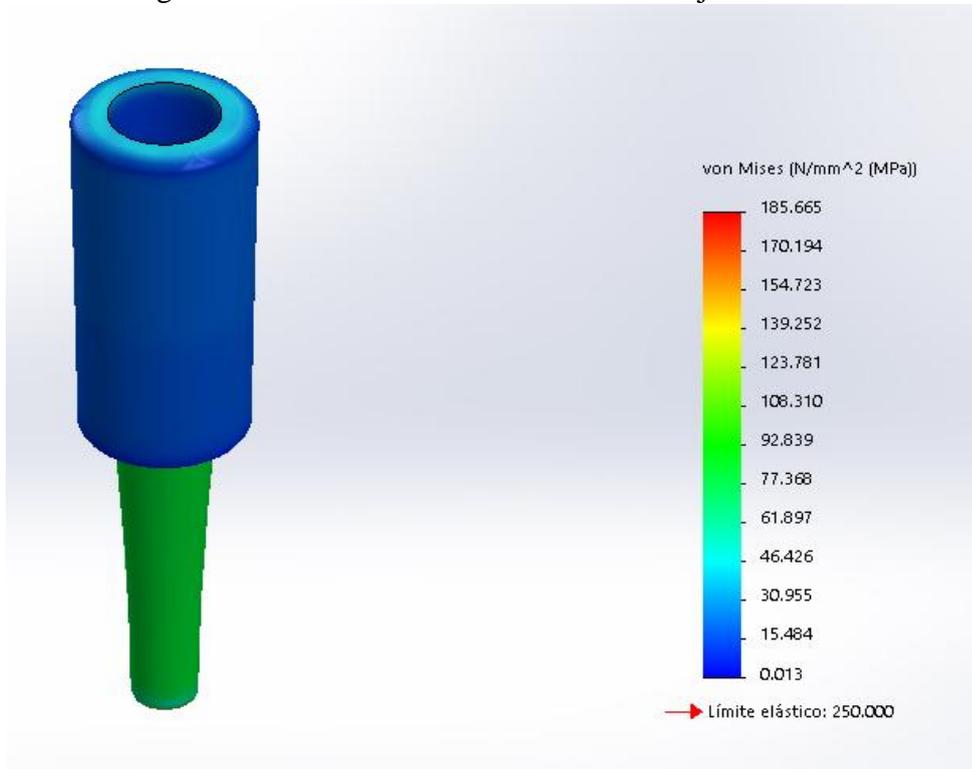
Figura 44. Factor de seguridad de los ejes conducido reductor



Fuente: Autores

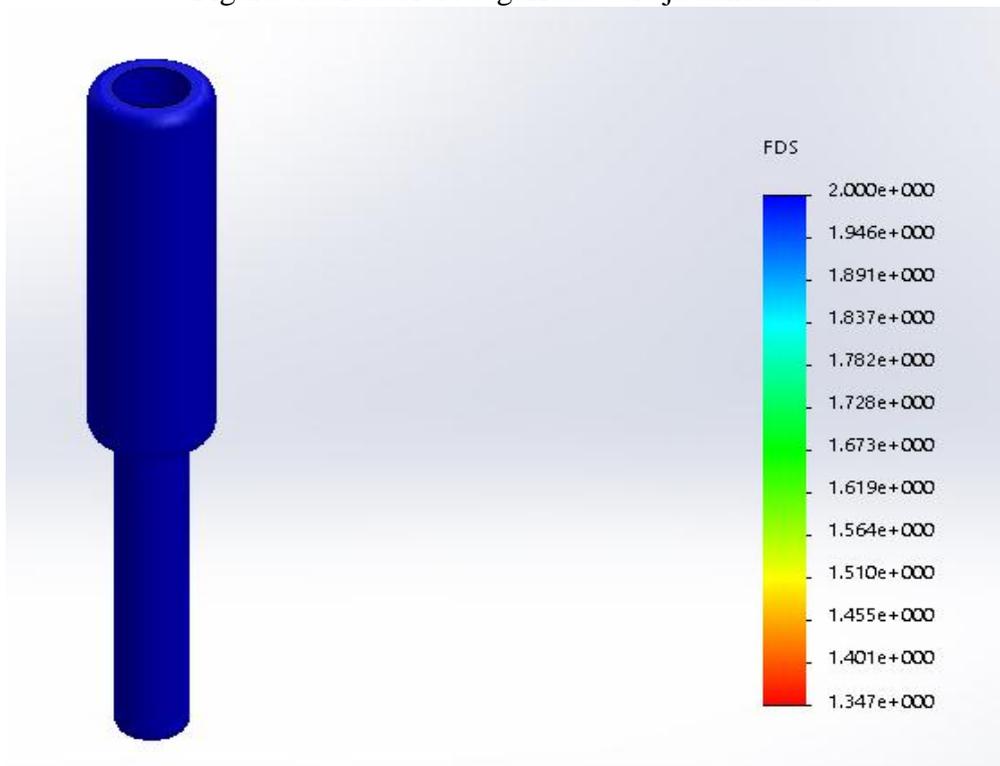
- Cálculo del factor de seguridad y tensión en el eje conductor del elemento brazo.

Figura 45. Análisis estático de tensión del eje conductor



Fuente: Autores

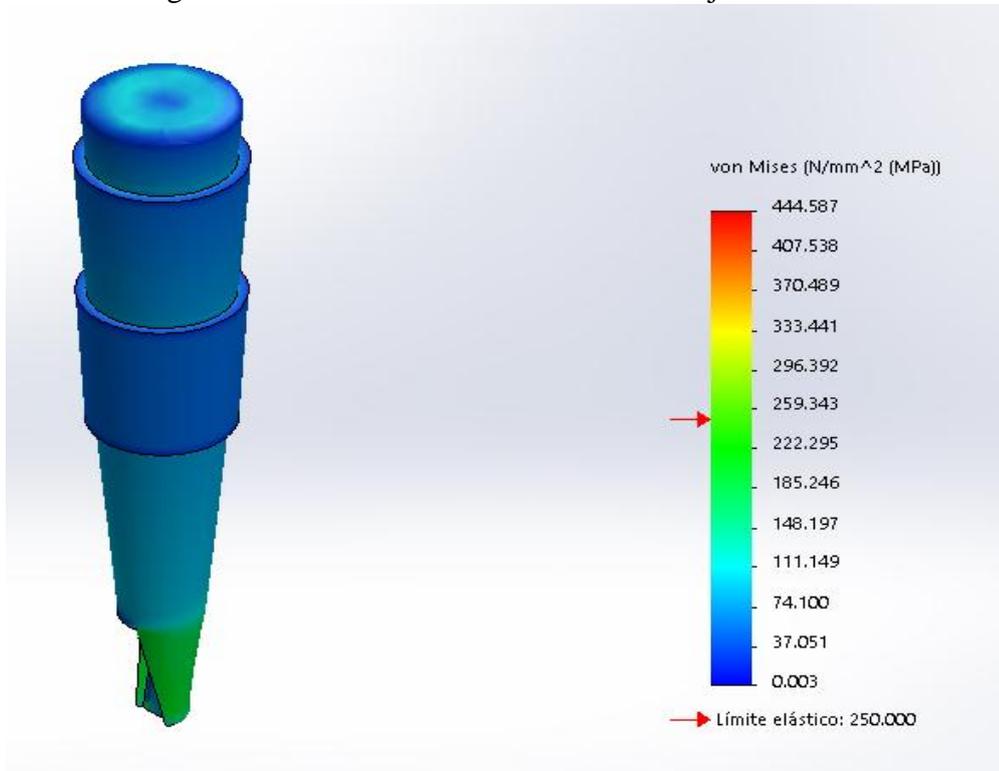
Figura 46. Factor de seguridad del eje conductor



Fuente: Autores

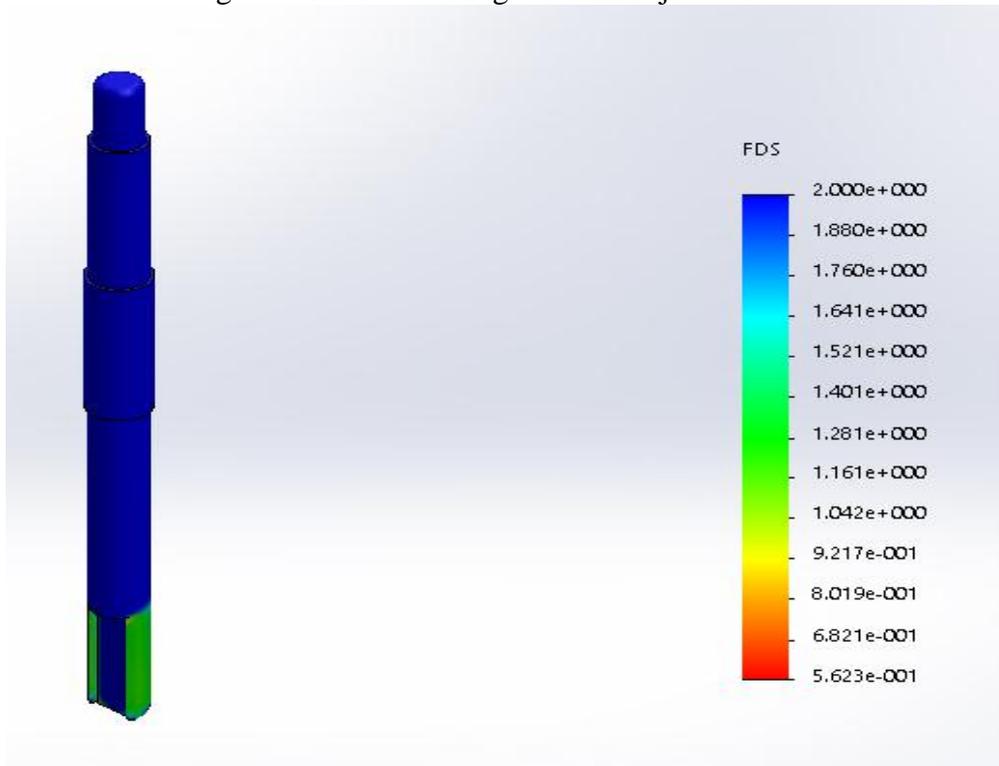
- Cálculo del factor de seguridad y tensión en el eje conducido del elemento brazo.

Figura 47. Análisis estático de tensión del eje conducido



Fuente: Autores

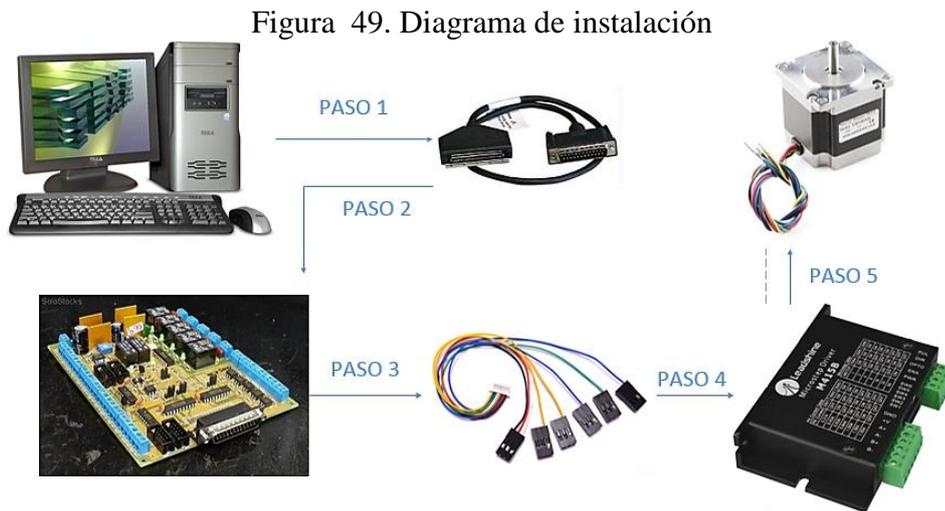
Figura 48. Factor de seguridad del eje conducido



Fuente: Autores

3.4 Diagrama de instalación

Para realizar la instalación de los componentes de control del brazo se siguen 5 pasos fundamentales. En la figura 49 se observa los pasos a seguir para la instalación de los componentes de control.



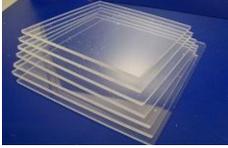
Fuente: Autores

- *Paso 1.* En la parte posterior del CPU de control está la tarjeta madre donde se encuentra el conector para puerto paralelo, luego de ubicar el conector se procede a instalar el cable para puerto paralelo.
- *Paso 2.* El otro extremo del cable se conecta con el interfaz-puerto paralelo.
- *Paso 3.* A continuación se conectan los cables de comunicación entre driver e interfaz, esto se lo debe realizar con cables de diferentes colores que ayuda a la identificación de cada uno de los conectores y no cometer errores al instalar los driver.
- *Paso 4.* Una vez conectados los cables a la interfaz se cierra el circuito conectando los terminales a los driver de tal forma que coincidan entre terminales de dirección y sentido de la interfaz y el de los driver.
- *Paso 5.* Para finalizar se conectan los cables de los motores de pasos con los driver cuidando de identificar los terminales A+ A- B+ B- entre el motor y driver.

3.5 Construcción de los elementos del brazo

3.5.1 *Selección del material.* La alternativa para la selección del material se indica en la siguiente tabla.

Tabla 19. Alternativas para la selección del material

Alternativa 1. Acero	Alternativa 2. Aluminio	Alternativa 3. Acrílico
		

Fuente: Autores

Calificación

Alta = 3 media = 2 baja = 1

Tabla 20. Criterios para la selección del material

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Resistente a altas temperaturas	3	2	1
Arranque de viruta	1	3	2
Ligero	1	2	3
Fragilidad	3	2	1
Resistentes a las cargas ocasionadas por su composición	3	2	1
Alta resistencia a la corrosión	1	2	3
Calificación	12	13	11

Fuente: Autores

Tomando en cuenta la tabla de ponderaciones, el material más idóneo para la construcción del brazo es el aluminio, por su peso, fragilidad, mecanización y resistencia al momento de poner en funcionamiento el prototipo. El acrílico permitirá tener una mayor visualización en este caso de los sistemas de transmisión que conforman el brazo, ayudando también a disminuir el peso en el mismo.

3.5.2 *Elaboración de las partes que conforman el brazo.* Para elaborar el diseño de los elementos que conforman el brazo en aluminio se ha procedido a fundir bloques y luego realizar su respectiva mecanización.

3.5.2.1 *Fundición de las piezas.* Se ha construido modelos de bloques de cada una de estas piezas para posteriormente realizar su respectiva fundición. El brazo consta de 15 piezas de aluminio en su diseño.

Figura 50. Piezas fundidas



Fuente: Autores

3.5.2.2 *Mecanización de las piezas.* En el centro de mecanizado Bridgeport VMC 800 se realizó el mecanizado de las piezas.

Figura 51. Centro de mecanizado Bridgeport VMC 800



Fuente: Autores

Esta máquina es automatizada capaz de desarrollar diferentes operaciones de maquinado con poca intervención humana que trabaja por medio de códigos G.

A continuación se indican los pasos que se siguieron para el mecanizado de los elementos del brazo.

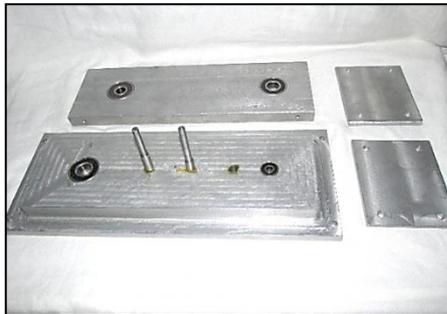
- Una vez fundido los bloques de aluminio se procede a cortar los sobrantes y limpiar las impurezas.

- Se coloca el bloque de aluminio en el centro de mecanizado ajustándolo por medio de las mordazas.
- En el programa Siemens NX 10.0 generamos los códigos G de los diseños CAD del prototipo, luego se procede a la simulación del mecanizado para su posterior envío de la máquina y realización del trabajo.
- Realización de la recepción de los códigos en el centro de mecanizado y carga de los programas a mecanizar.
- Terminada la mecanización se realiza la extracción de la pieza terminada.

A continuación se indican la mecanización de los diferentes elementos que corresponden al prototipo de brazo robótico soldador.

Base

Figura 52. Partes mecanizadas en aluminio que conforman la base



Fuente: Autores

Hombro

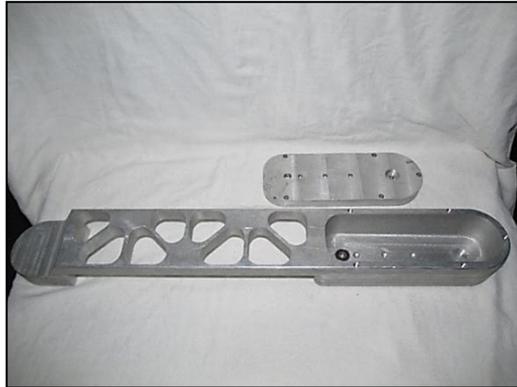
Figura 53. Partes mecanizadas en aluminio que conforman el hombro



Fuente: Autores

Brazo.

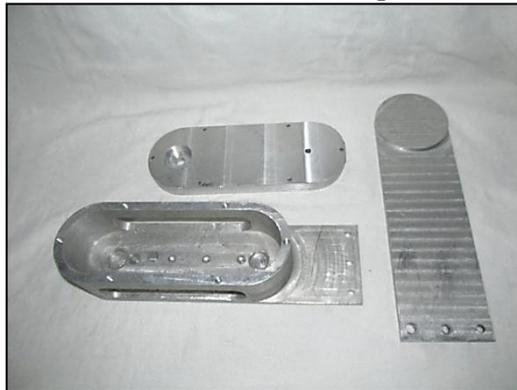
Figura 54. Partes mecanizadas en aluminio que conforman el brazo



Fuente: Autores

Antebrazo.

Figura 55. Partes mecanizadas en aluminio que conforman el antebrazo



Fuente: Autores

3.5.3 Construcción del sistema de transmisión

3.5.3.1 Elaboración de los engranajes. Para la elaboración de los engranajes se utilizó el plástico ABS.

Los engranajes fueron fabricados en una impresora 3D por la precisión que ofrece y su bajo costo de producción.

La impresora en la que se realizó la construcción de los engranajes es una impresora da Vinci 1.0A, este tipo de impresoras generan sólidos por medio de capas utilizando el filamento ABS y el modelo se lo carga a la impresora a través del software XYZ Printing.

Figura 56. Impresora da Vinci 1.0A



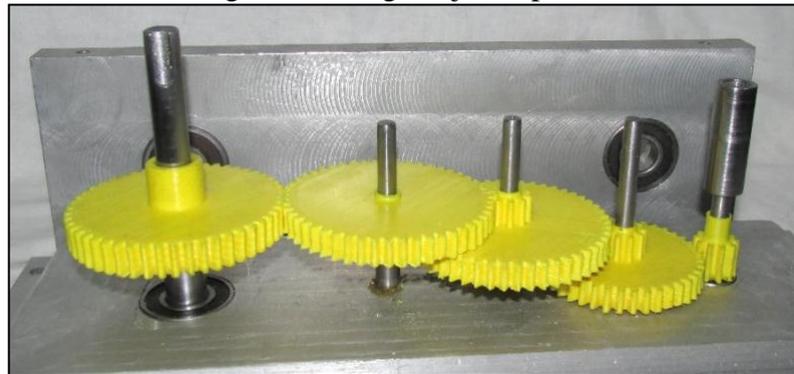
Fuente: <http://goo.gl/jYeLaZ>

Los diseños fueron realizados en solidworks el cual es compatible con el software de este tipo de impresoras.

Para cargar los diseños de los engranajes y piezas a este programa, se debe guardar con la extensión STL (*.stl), y cargarlo en el programa XYZware para su posterior impresión.

Como resultado se tiene un engranaje resistente para el tipo de trabajo que se va a realizar.

Figura 57. Engranajes impresos

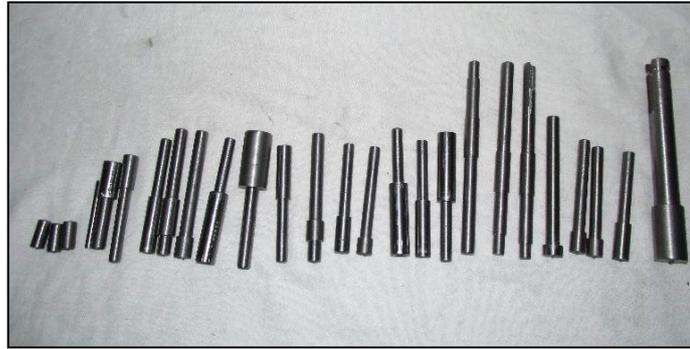


Fuente: Autores

3.5.3.2 *Elaboración de los ejes.* Para su elaboración el material utilizado es acero de transmisión, debido a su alto módulo de elasticidad.

Se utilizó un torno convencional para realizar el refrentado y desbaste dejando los diámetros especificados.

Figura 58. Ejes



Fuente: Autores

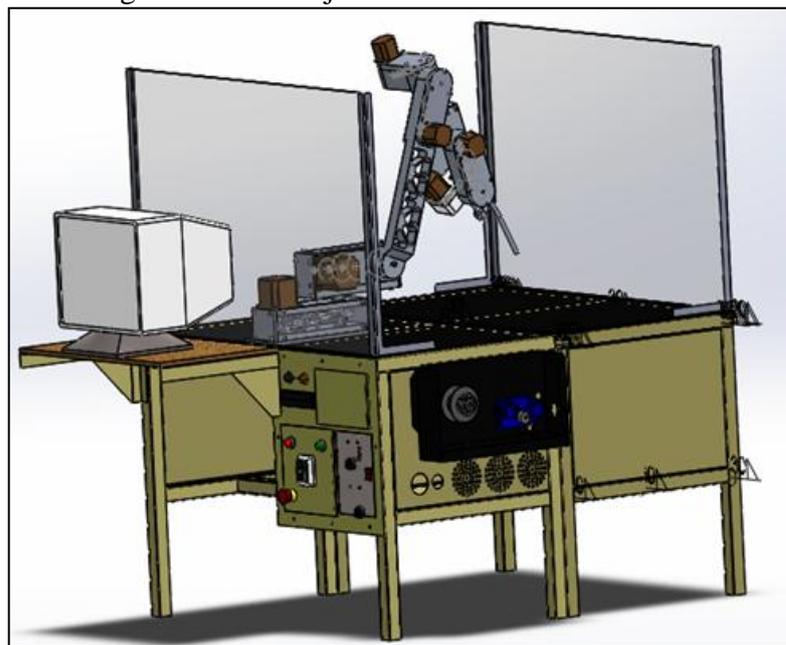
3.6 Montaje del brazo robótico soldador

Para montaje del brazo robótico soldador primero se unen las dos mesas y se procede a colocar los siguientes componentes:

- Computadora.
- Soldadora.
- Mordaza.
- Vidrios polarizados.

Con el brazo ya armado se lo coloca en una de las mesas de soporte.

Figura 59. Montaje del brazo robótico soldador



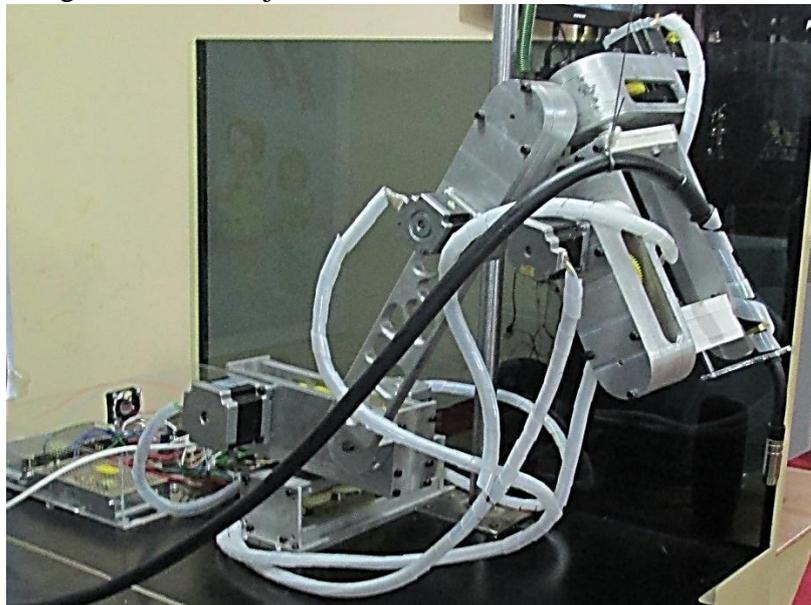
Fuente: Autores

Figura 60. Montaje de la estructura mesa del prototipo



Fuente: Autores

Figura 61. Montaje del brazo robótico soldador en la mesa

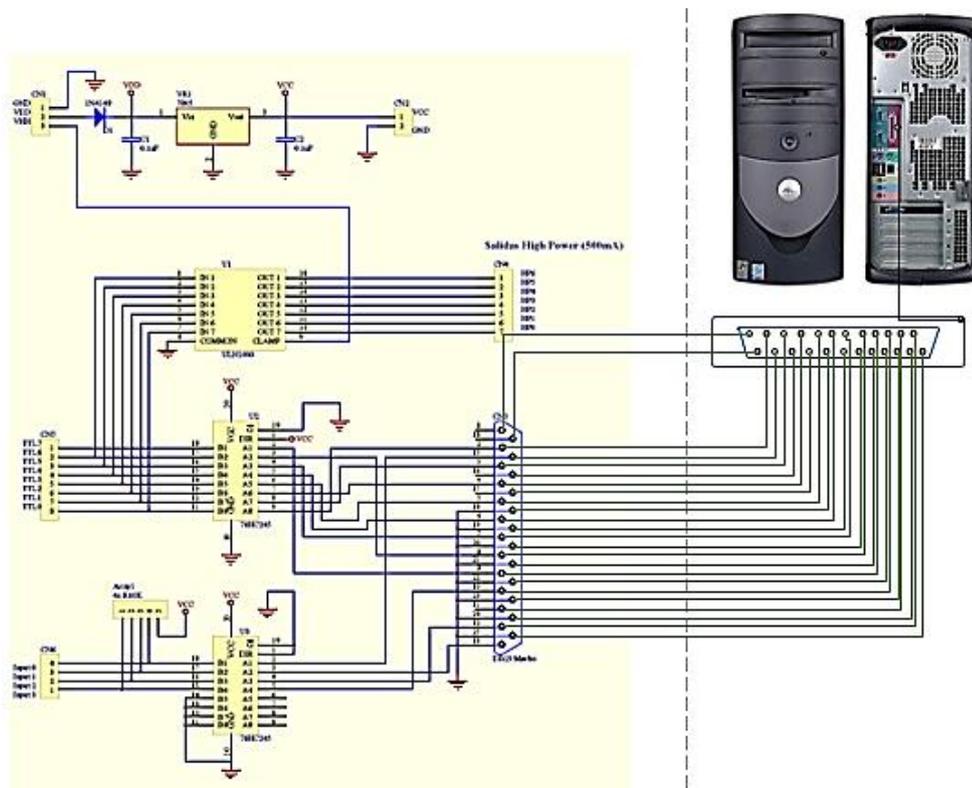


Fuente: Autores

3.7 Comunicación entre el prototipo de brazo soldador y ordenador

Los datos de control son transferidos de forma directa desde el software al terminal de puerto paralelo, por medio de conexión por cable se transfiere los datos a la interfaz la cual envía las señales de dirección y pulsos a los driver de los motores paso a paso.

Figura 62. Comunicación entre el prototipo de brazo soldador y ordenador



Fuente: Autores

3.8 Pruebas y puesta en funcionamiento del prototipo de brazo soldador

Una vez seleccionados y ubicados los distintos elementos que conforman el brazo robótico soldador se procede a pruebas para comprobar el funcionamiento del prototipo.

- Para poner en funcionamiento el brazo robótico soldador se debe tener dos fuentes de alimentación una de 110V y de 220V.
- Una vez energizado el prototipo se comprueba que las conexiones eléctricas estén correctamente instaladas y tengan energía todos los componentes eléctricos y electrónicos.
- Verificar la interfaz entre el programa y el prototipo.
- Se realizaron pruebas a cada uno de los motores paso a paso para comprobar su funcionamiento mediante el programa Linux CNC.

- Comprobar que los engranajes se encuentren correctamente lubricados.
- Verificar que el ajuste de los pernos sea el correcto.
- Luego de probar que todos los componentes funcionan de una manera adecuada se procedió a cargar un programa para que el brazo realiza un cordón de soldadura.
- Con el brazo en funcionamiento se observa que los parámetros de la soldadura sean los recomendados.
- El arco eléctrico debe tener la forma deseada.

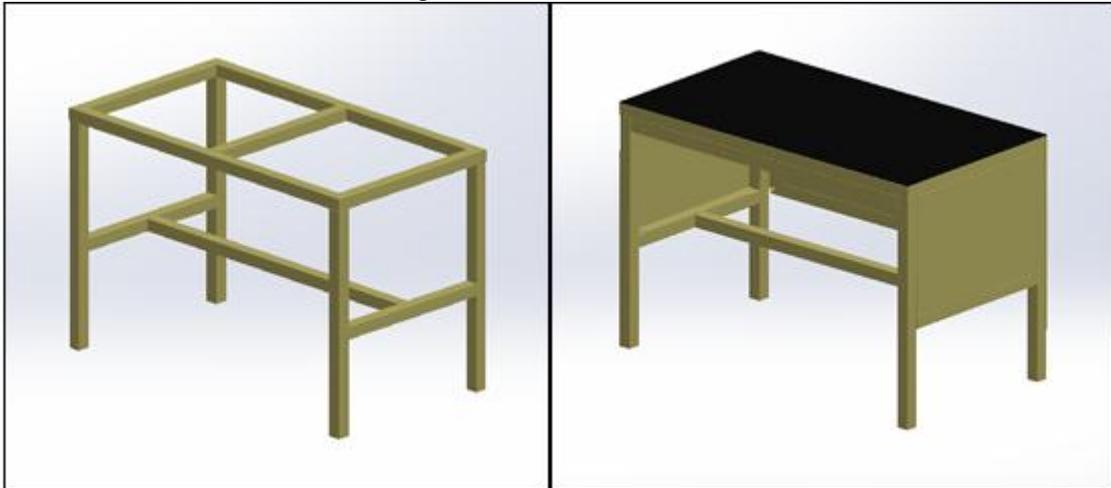
3.9 Cálculo de los esfuerzos en materiales de la estructura base del brazo soldador

3.9.1 *Construcción de la estructura base.* Para la elaboración de la estructura base se utilizó acero estructural ASTM A36, comúnmente utilizado en la construcción de estructuras y se lo puede encontrar también en perfiles. El diseño de la estructura consta de 2 partes denominadas mesa 1 y mesa 2. Se realizó siguiendo los planos y con los pasos de a continuación:

- Diseño de la estructura base y comprobación de la resistencia de cargas en solidworks.
- Adquisición de los materiales para la construcción.
- Medición y rayado el perfil estructural y las planchas de acero.
- Corte y soldadura el perfil estructural.
- Corte y soldadura las planchas de acero.
- Pulir los cordones de soldadura.
- Doblar las planchas de acero galvanizado conforme a las medidas de los planos.

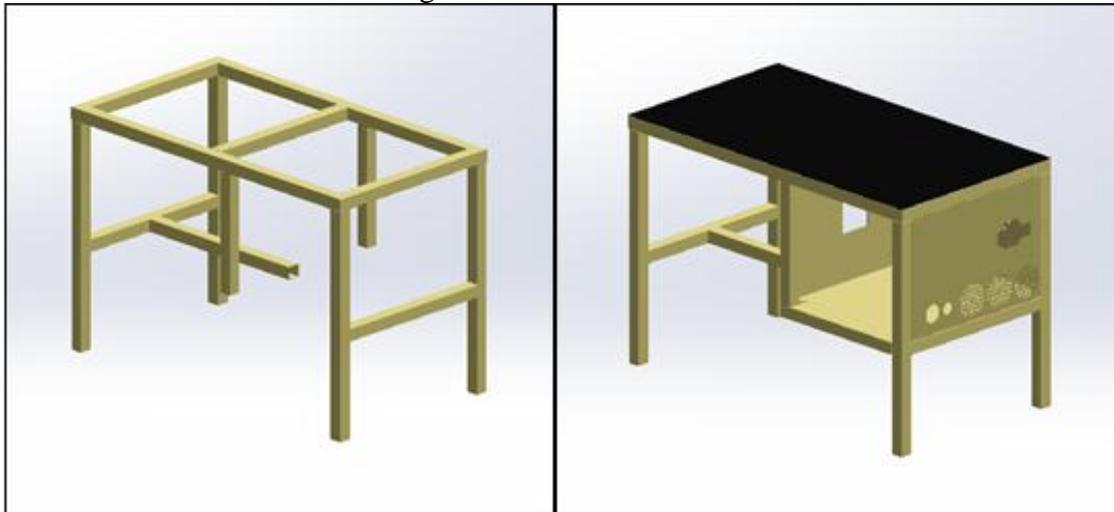
- Remachado de las planchas de acero en la estructura base.
- Acabados y pintura.

Figura 63. Diseño mesa 1



Fuente: Autores

Figura 64. Diseño mesa 2



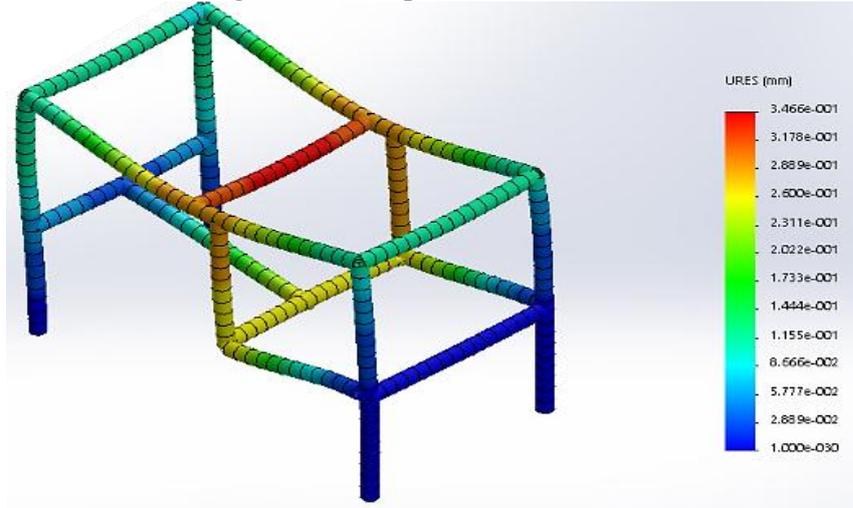
Fuente: Autores

3.9.2 *Análisis estático del módulo didáctico*

3.9.2.1 *Desplazamiento estático (módulo didáctico)*

- Nombre de estudio: Análisis estático mesa2
- Tipo de resultado: Desplazamiento estático
- Escala de deformación: 320.325

Figura 65. Desplazamiento estático

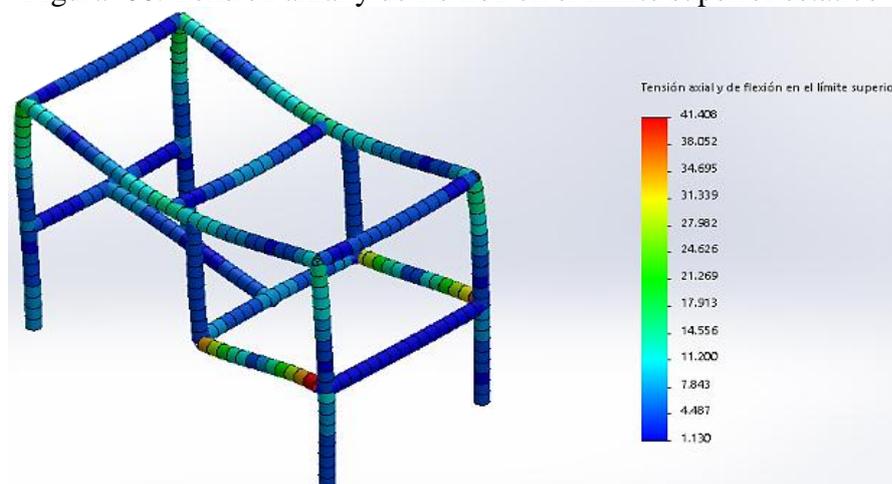


Fuente: Autores

3.9.2.2 Tensión axial y de flexión en el límite superior (módulo didáctico)

- Nombre de estudio: Análisis estático mesa 2
- Tipo de resultado: Tensión axial y deflexión en el límite superior
- Escala de deformación: 320.325

Figura 66. Tensión axial y de flexión en el límite superior estático

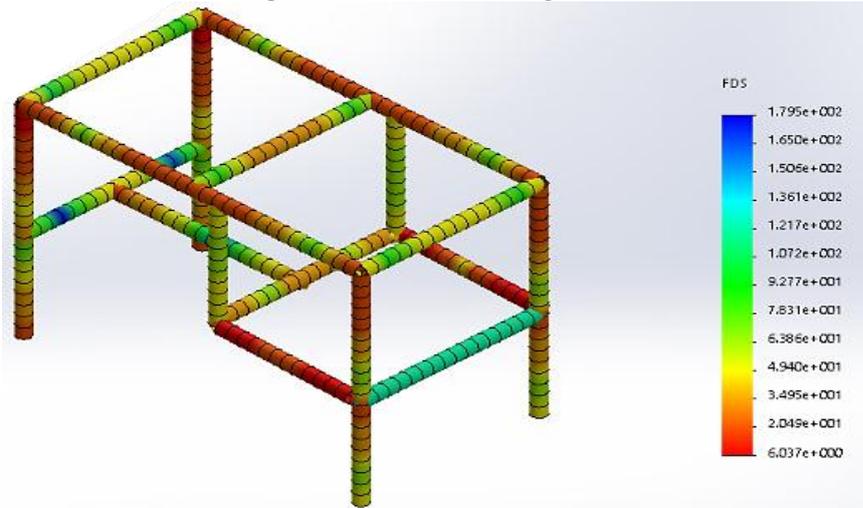


Fuente: Autores

3.9.2.3 Factor de seguridad (módulo didáctico)

- Nombre de estudio: Análisis estático mesa2
- Tipo de resultado: Factor de seguridad
- Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 6

Figura 67. Factor de seguridad



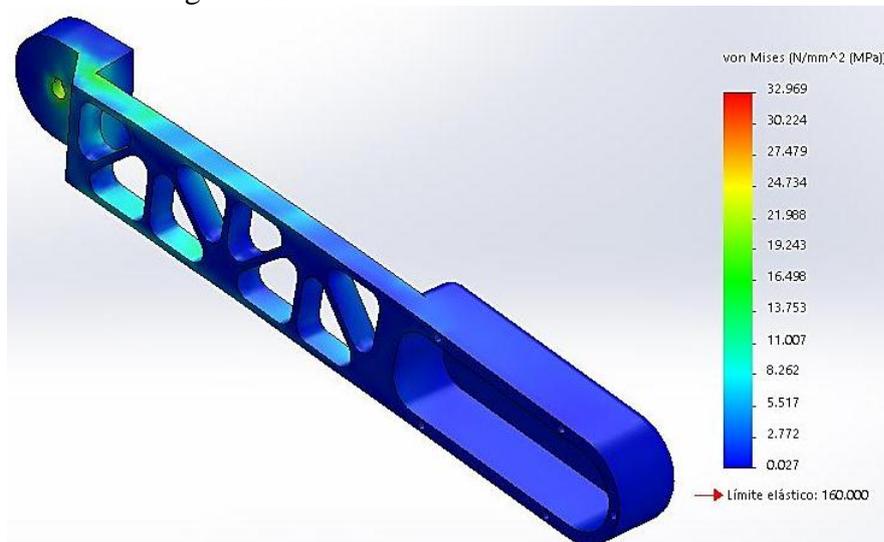
Fuente: Autores

3.9.2.4 Cálculo de los esfuerzos de los elementos del brazo

- **Brazo**

- Nombre de estudio: Análisis estático
- Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal
- Escala de deformación: 97.979

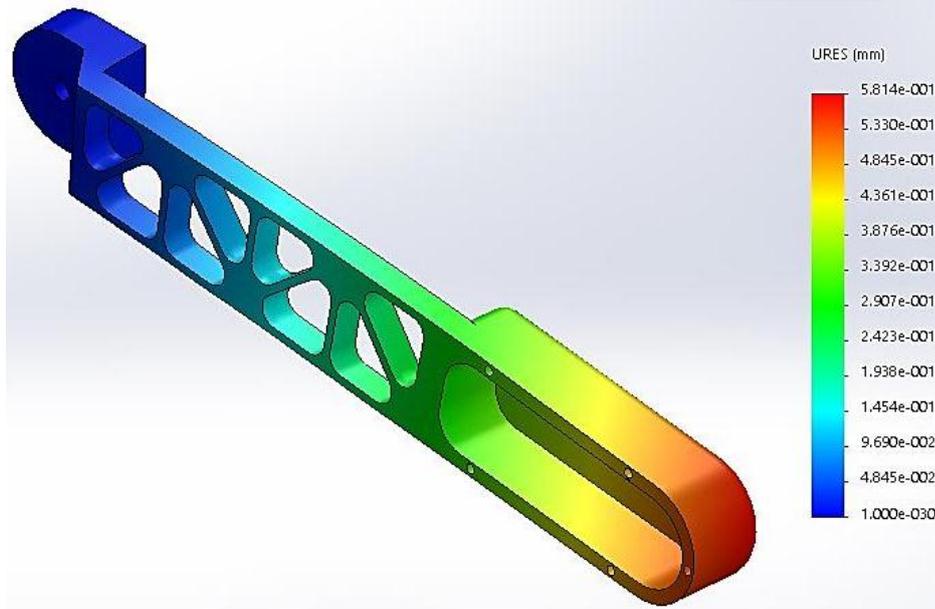
Figura 68. Análisis estático tensión del brazo



Fuente: Autores

- Nombre de estudio: Análisis estático
- Tipo de resultado: Desplazamiento estático
- Escala de deformación: 97.979

Figura 69. Desplazamiento estático del brazo

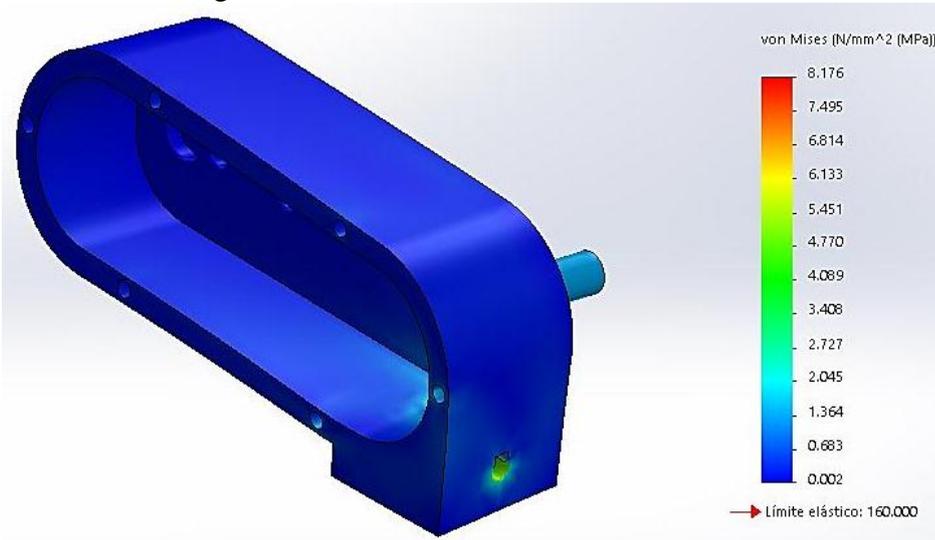


Fuente: Autores

- **Codo**

- Nombre de estudio: Análisis estático
- Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal
- Escala de deformación: 2038.01

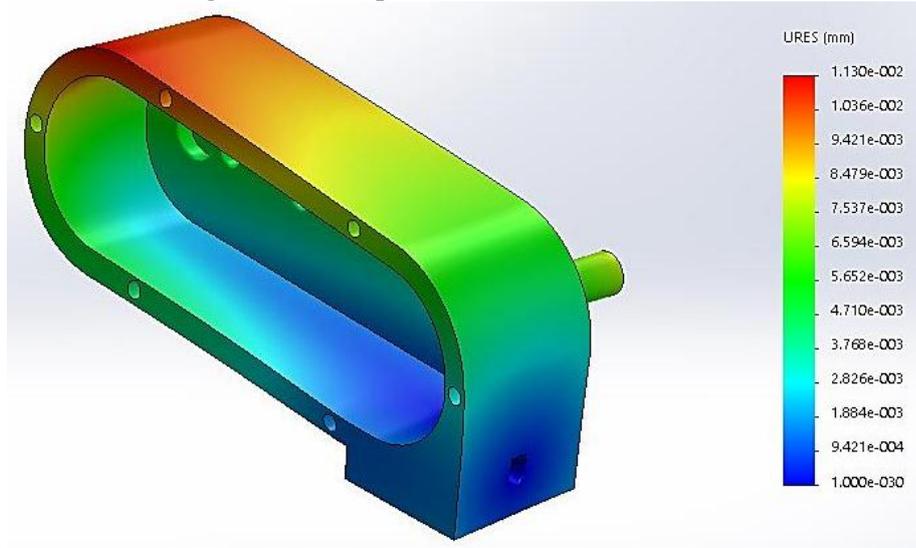
Figura 70. Análisis estático tensión del codo



Fuente: Autores

- Nombre de estudio: Análisis estático
- Tipo de resultado: Desplazamiento estático
- Escala de deformación: 2038.01

Figura 71. Desplazamiento estático del codo

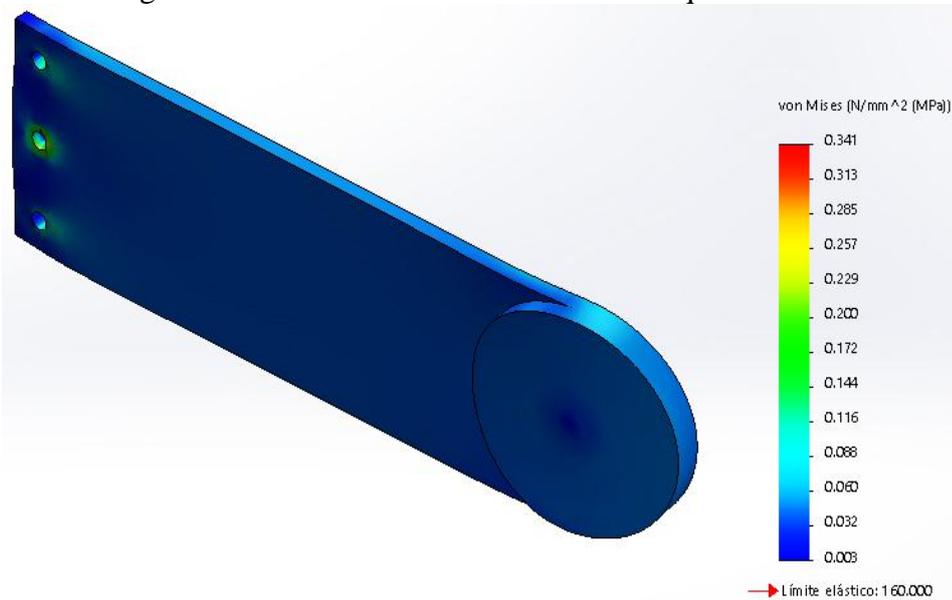


Fuente: Autores

- **Antebrazo**

- Nombre de estudio: Análisis estático
- Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal
- Escala de deformación: 45433

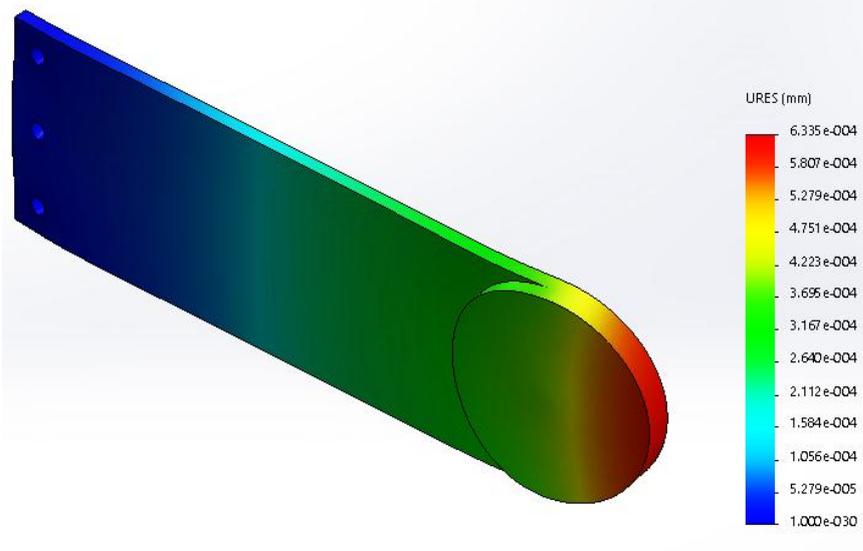
Figura 72. Análisis estático tensión de la orquilla lateral



Fuente: Autores

- Nombre de estudio: Análisis estático
- Tipo de resultado: Desplazamiento estático
- Escala de deformación: 45433

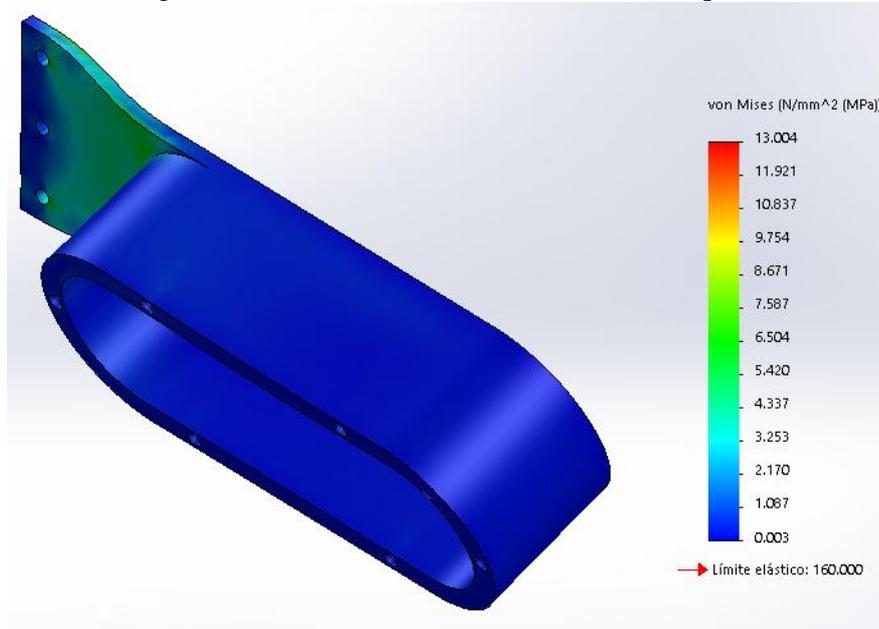
Figura 73. Desplazamiento estático de la orquilla lateral



Fuente: Autores

- Nombre de estudio: Análisis estático
- Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal
- Escala de deformación: 449.102

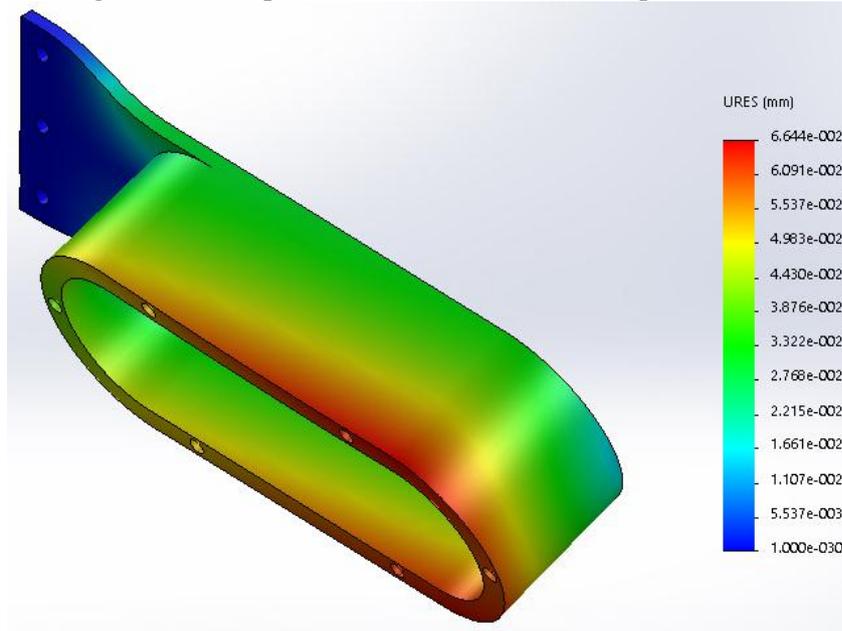
Figura 74. Análisis estático tensión de la orquilla



Fuente: Autores

- Nombre de estudio: Análisis estático
- Tipo de resultado: Desplazamiento estático
- Escala de deformación: 449.102

Figura 75. Desplazamiento estático de la orquilla lateral



Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

4. MANUAL DE OPERACIÓN Y GUÍA DE PRÁCTICAS DEL LABORATORIO

4.1 Instalación de software y carga del programa

Para la instalación del software y la ejecución del programa se debe verificar que la conexión de la computadora con la interfaz puerto paralelo sea la adecuada.

4.1.1 *Instalación de software.* La computadora que ejecuta las ordenes al brazo robótico soldador, debe tener instalado el programa Linux CNC, para ello su sistema operativo será Linux.

Para instalar el sistema operativo Linux CNC se procedió a descargar el software de la página linuxcnc.org y a seguir los pasos que se indica.

Para la instalación del programa Linux CNC, debemos grabar un disco con imagen iso del software, luego insertar el disco en la unidad lectora.

Reiniciar la CPU, en la pantalla de inicio se desplegará un menú de instalación el cual consta de un test de latencia, probar el programa antes de instalar, instalación con partición de disco, instalación en todo el disco.

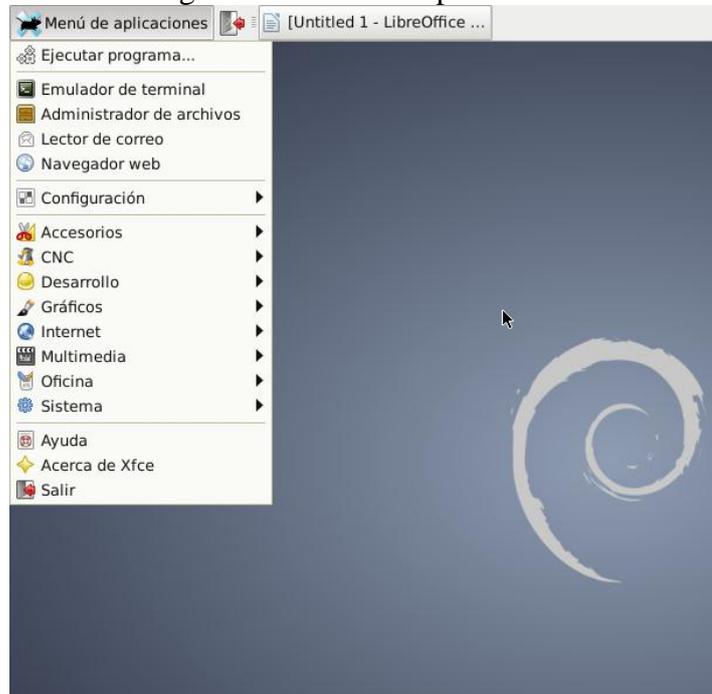
Se recomienda primero probar el software antes de instalar y realizar el test de latencia para comprobar que la CPU tenga las características idóneas para su funcionamiento, esto quiere decir que tenga la capacidad de procesar la información de forma correcta.

Luego de realizar la comprobación se recomienda la instalación del software en todo el disco. Hacer clic en el icono de instalación, contestar unas cuantas preguntas (su nombre, zona horaria, contraseña) y la instalación se completara en unos pocos minutos. Hay que asegurarse en conservar el nombre y la contraseña que introdujo.

Una vez que el proceso de instalación concluya el administrador de actualizaciones le permitirá actualizar a la última versión estable de Linux CNC.

4.1.2 Carga del programa. Para ejecutar el programa, se selecciona el menú de aplicaciones que se encuentra en la barra superior del escritorio.

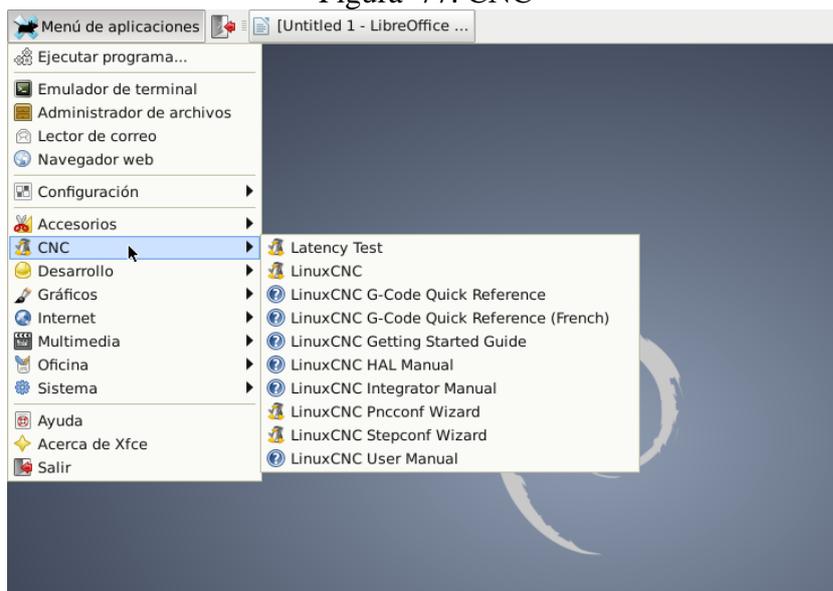
Figura 76. Menú de aplicaciones



Fuente: Autores

Nos dirigimos a la opción CNC.

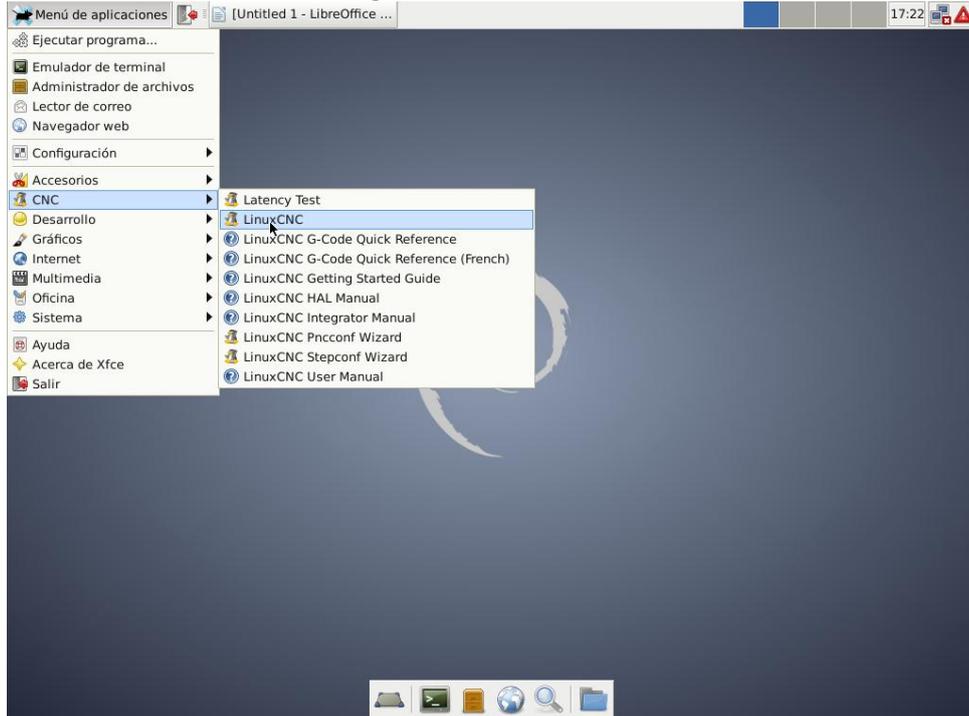
Figura 77. CNC



Fuente: Autores

Se selecciona la opción Linux CNC.

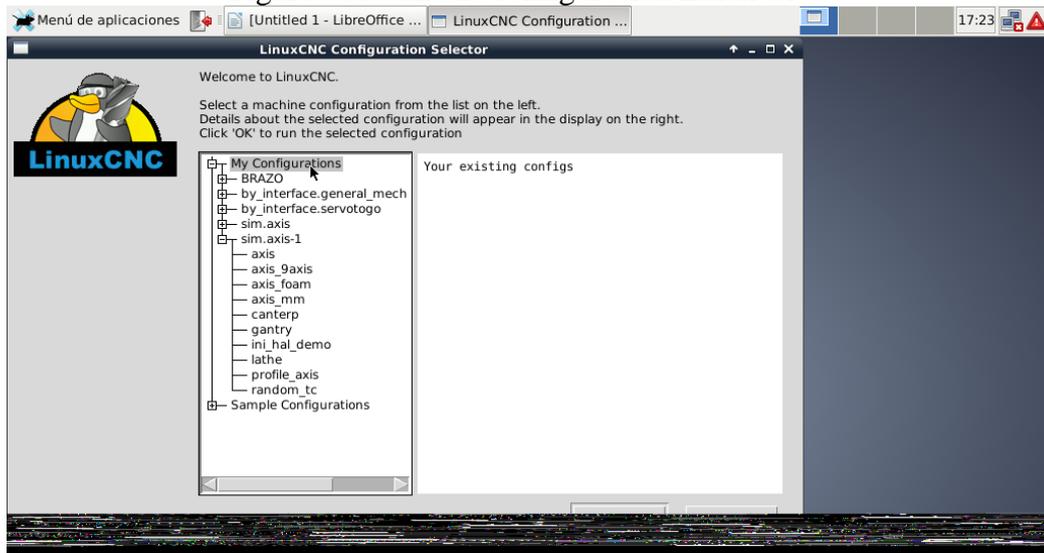
Figura 78. Linux CNC



Fuente: Autores

Como siguiente paso se abre la ventana de configuración de Linux CNC, el cual se puede configurar la máquina a trabajar, como ejemplo seleccionaremos la opción de una máquina ya generada en el sistema.

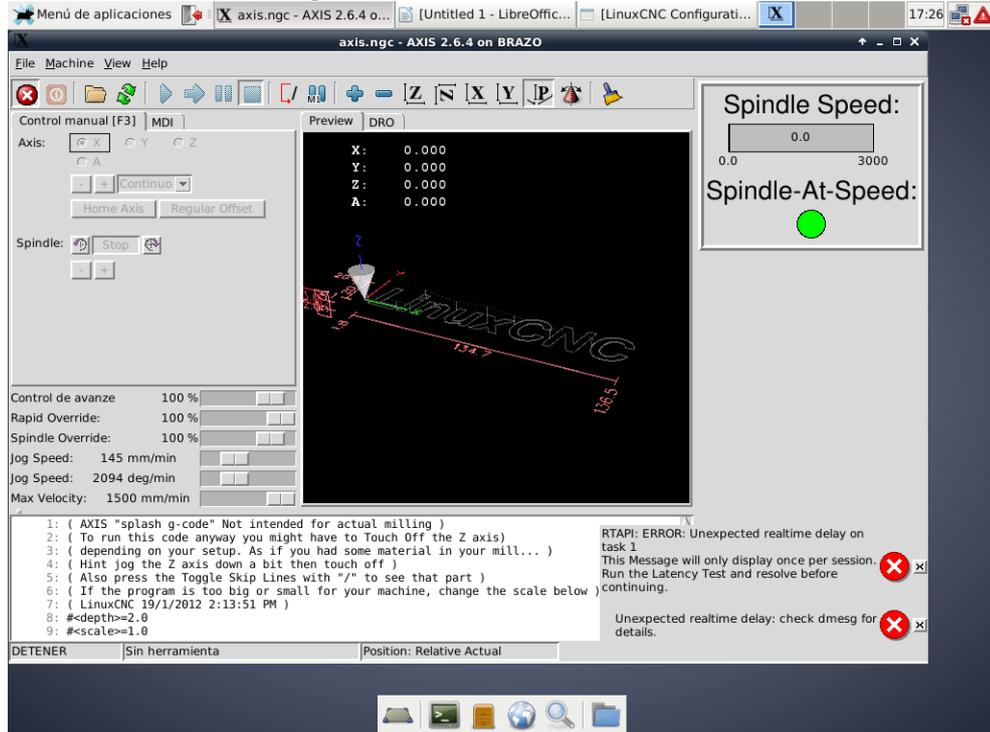
Figura 79. Ventana configuración Linux CNC



Fuente: Autores

Al seleccionar la programación ejemplo, se nos abre la siguiente ventana de simulación de la programación.

Figura 80. Ventana de simulación



Fuente: Autores

En la barra superior podemos observar distintos botones que nos indican lo siguiente:

Botón de Emergencia que sirve para parar la programación.



Botón de encender, para encender el funcionamiento de la máquina.

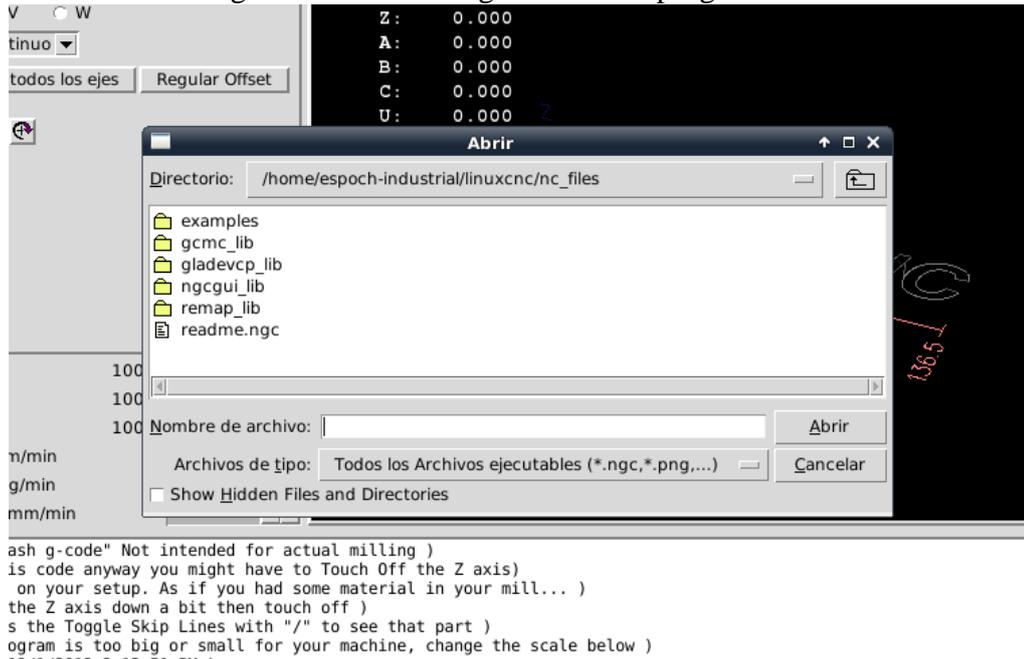


En el siguiente botón podemos abrir archivos de programación ya guardados anteriormente.



Se procede a abrir un archivo de programación ya diseñado.

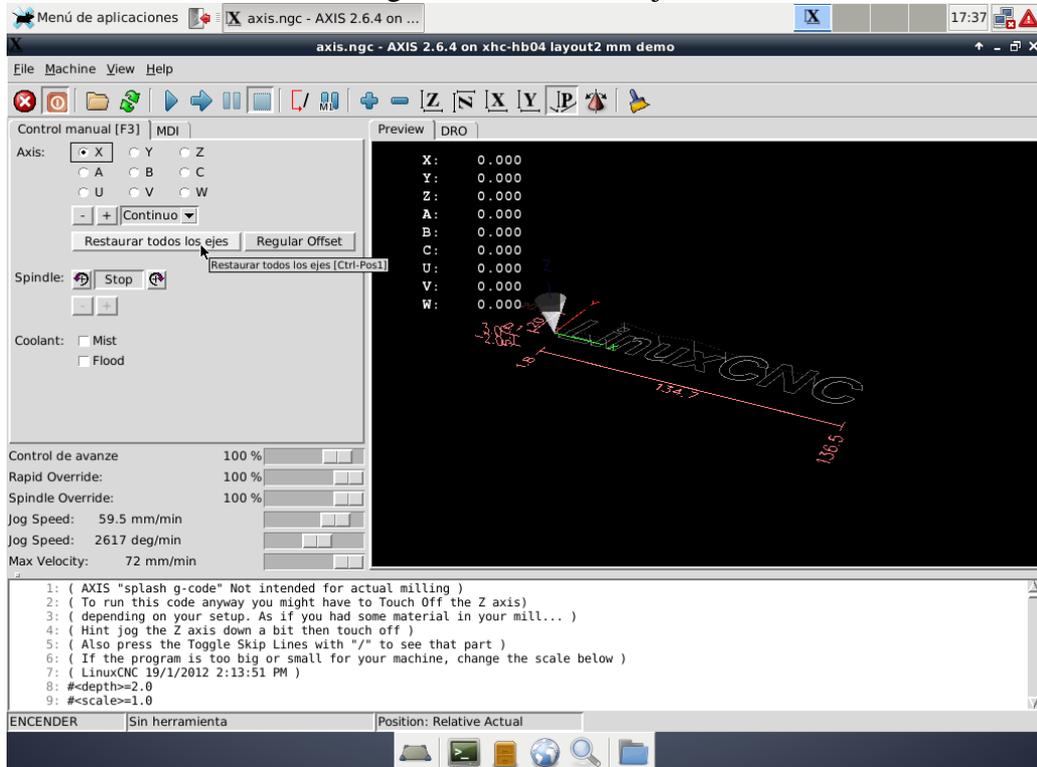
Figura 81. Archivos guardados de programación



Fuente: Autores

A continuación se restauran todos los ejes presionando esa opción.

Figura 82. Restaurar ejes



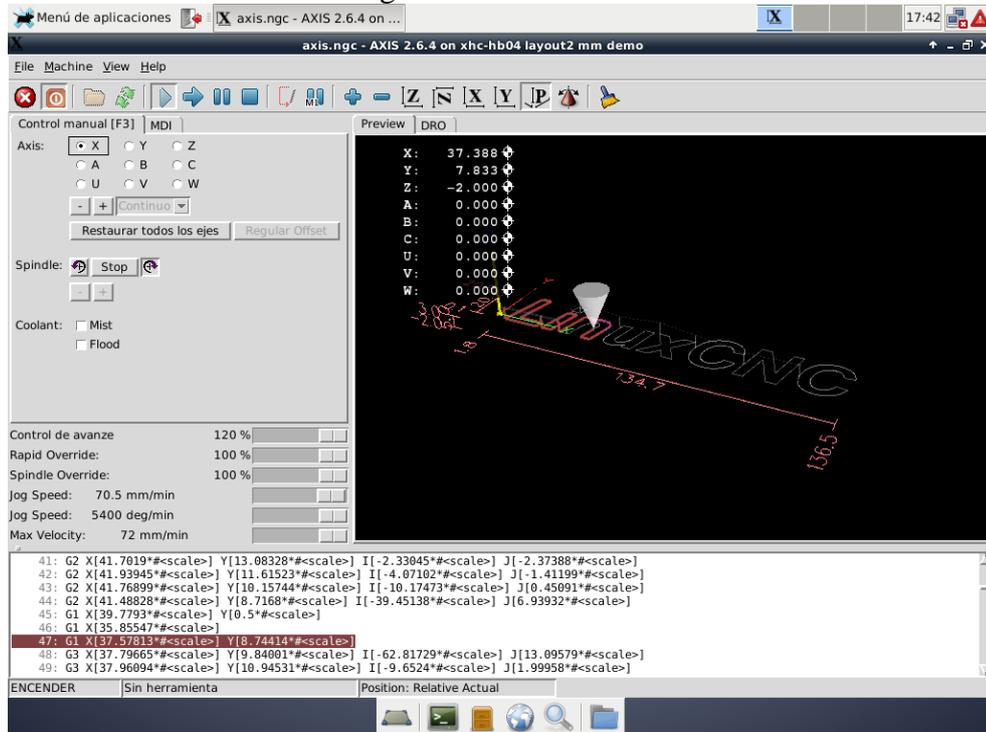
Fuente: Autores

Y seleccionamos el botón de ejecutar la simulación.



La simulación nos indica el proceso en que irá nuestra programación.

Figura 83. Simulación



Fuente: Autores

Para la finalización la programación se presiona el botón de parada y se procede a cerrar la venta de simulación.

4.2 Ensamble del prototipo del brazo soldador

Para el ensamble del prototipo se debe tener en cuenta que este, está dividido en dos partes de construcción, la estructura base y la estructura del brazo.

4.2.1 Estructura base. Para el ensamble de la estructura base se tomará en cuenta las siguientes indicaciones.

La estructura base está diseñada en 3 partes:

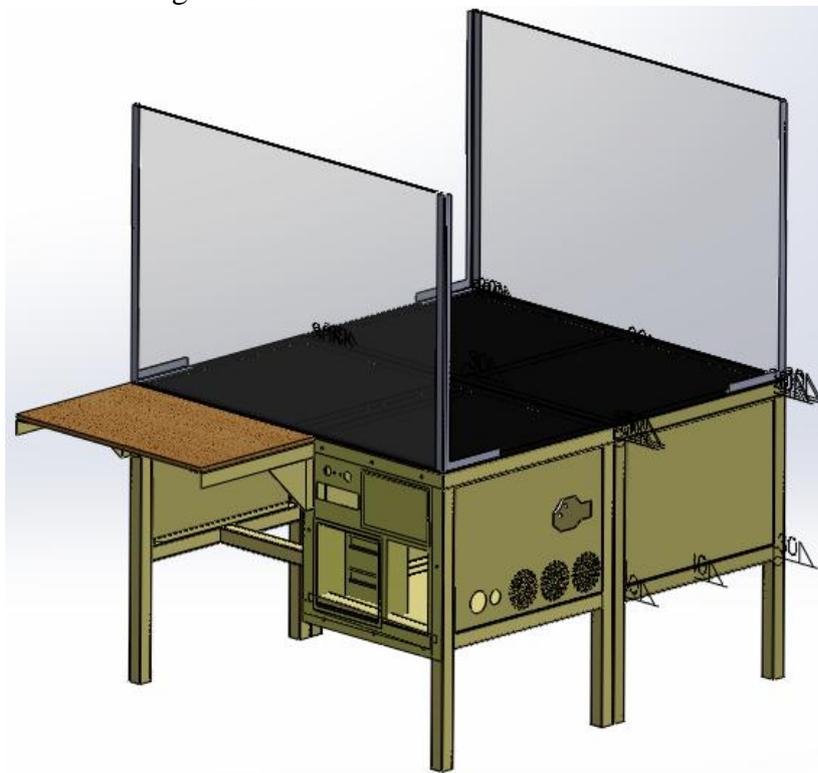
- La primera parte es el soporte de la computadora construida en acero y de madera.

- La segunda parte es la mesa donde está la caja de control en ella ubicada todos los componentes eléctricos, electrónicos y en donde irá apoyado la estructura brazo.
- La tercera es otra mesa de soporte en donde habrá el espacio suficiente para que el brazo cumpla su función de soldar.

Para el ensamble de estas 3 partes se deben colocar en el orden adecuado y sujetarlas por medio de pernos.

Una vez ensamblada las 3 partes se procede a colocar los vidrios en las mesas.

Figura 84. Ensamble de la estructura base



Fuente: Autores

4.2.2 Estructura brazo. Para el ensamble de la estructura brazo se tomará en cuenta las siguientes indicaciones:

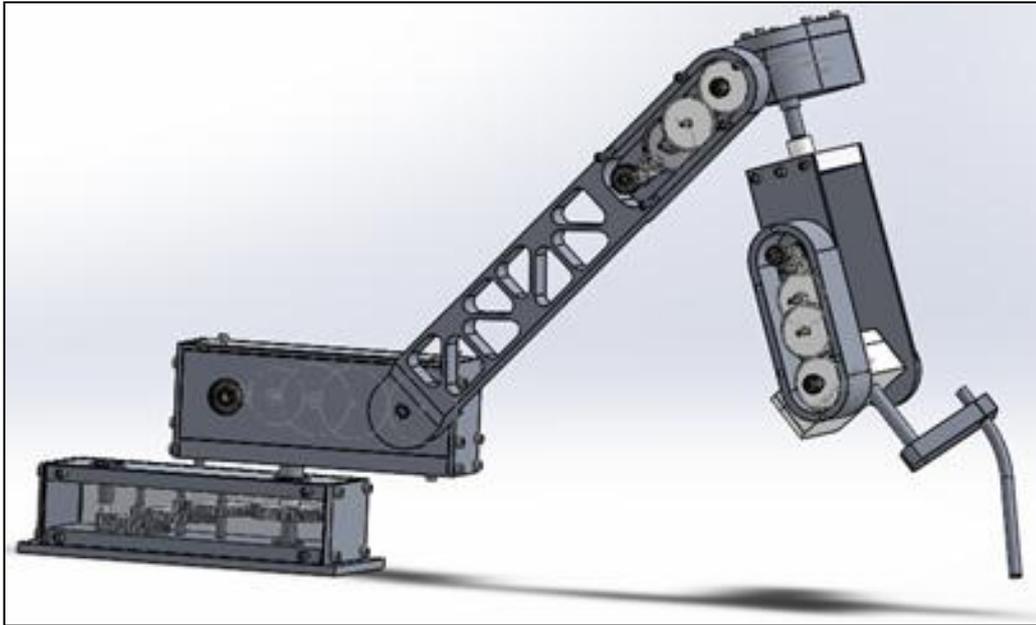
- Cada una de las partes como base, hombro, brazo, codo, antebrazo y muñeca deben estar armados con su respectivo sistema de engranajes esto incluye los ejes, rodamientos y sus engranajes colocados adecuadamente. Cada una de sus caras debe estar sujetadas correctamente por medio de pernos.

- La base es la primera parte que se coloca encima de una de las mesas y se sujeta por medio de pernos.
- A continuación se coloca la parte del hombro, esta va unida a la base, introducida en el eje conducido de esta con una chaveta.
- Posterior se colocan las partes siguientes que van acopladas por medio de los ejes mostrando su forma de sujeción como se indicó en el punto anterior, luego del hombro sigue la parte del brazo, una vez colocado el brazo se coloca el codo y este a su vez el antebrazo.
- Como parte final se coloca la muñeca que va dentro de las dos placas del antebrazo unida por ejes.
- En este último elemento por medio de un mecanismo irá acoplada la antorcha resultando ser el elemento final en el ensamble del brazo.

4.2.2.1 *Ensamble del brazo parte mecánica.* Cada parte que conforma el brazo como base, hombro, brazo, antebrazo y muñeca, antes de ser ensamblado en su totalidad, deben estar armados con su respectivo sistema de transmisión y para ello se sigue las siguientes recomendaciones:

- Ubicar los rodamientos que correspondan en cada espacio de las placas mecanizadas.
- Ensamble de los ejes en cada placa correspondiente.
- Insertar los engranajes ordenadamente en cada eje.
- Ajustar las placas por medio de pernos M6 cabeza allen.
- Colocar la base.
- Insertar la base, hombro, brazo, codo, antebrazo y muñeca en cada eje que corresponda.

Figura 85. Ensamble del brazo parte mecánica

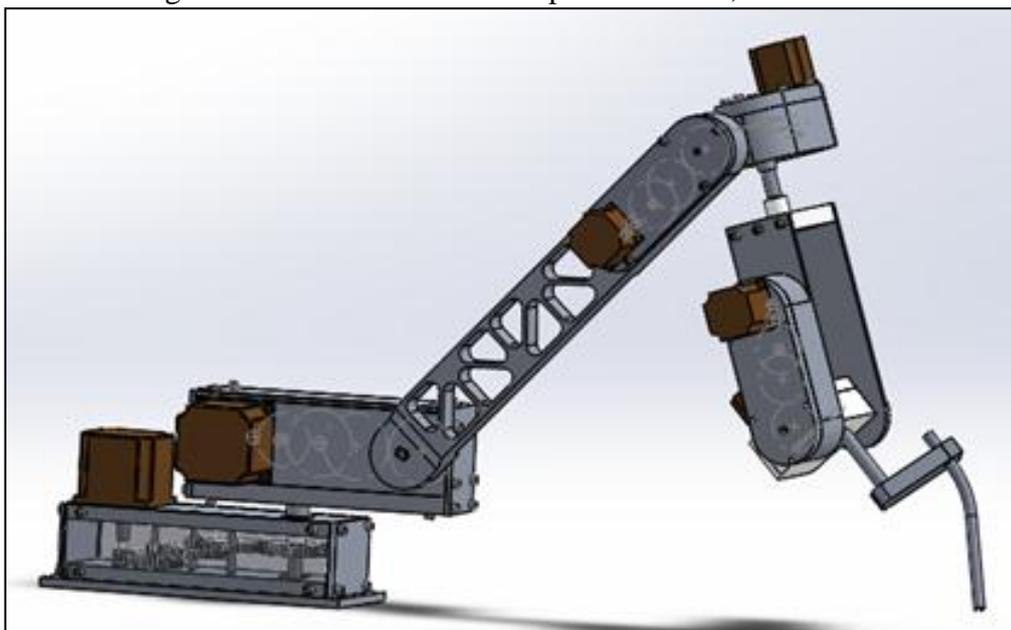


Fuente: Autores

4.2.2.2 *Ensamble del brazo parte eléctrica, electrónica*

- Colocar los 6 motores paso a paso en su eje correspondiente.
- Realizar la conexión de cada driver a su respectivo motor paso a paso.
- Conectar los drivers a la interfaz de puerto paralelo.
- Instalación de la caja térmica con sus componentes eléctricos.

Figura 86. Ensamble del brazo parte eléctrica, electrónica



Fuente: Autores

4.3 Manual de seguridad de operación del prototipo

Debido a las características de los sistemas tecnológicos instalados en el prototipo como elementos eléctricos, electrónicos, mecánicos y como función principal de generar un cordón de soldadura, este produce riesgos potenciales al operador del cual deberían ser evitados.

Recomendaciones generales:

- Capacitar a los operarios acerca del funcionamiento del prototipo.
- Debe mantenerse limpia el área cercana al prototipo sin agua y residuos.
- No permitir distracciones al momento de manipular el prototipo.
- No colocar objetos en el área de trabajo.
- Se debe verificar todos los recursos indispensables para la práctica.
- Revisar la señalética de seguridad tanto del laboratorio y del prototipo.

4.3.1 *Medidas de seguridad en la fase del diseño.* Al momento de diseñar el prototipo se ha tomado en cuenta varias medidas de seguridad:

- Todos los elementos eléctricos y electrónicos están situados en un lugar accesible para el operario con la ventilación y con las correctas conexiones eléctricas.
- Hay una parada de emergencia para desactivar el funcionamiento del prototipo en el caso que lo requiera.
- El acceso de los elementos eléctricos y electrónicos están limitados mediante el empleo de llaves.
- Se ha colocado vidrios polarizados para evitar las proyecciones producidas por la soldadura.

4.3.2 *Riesgo mecánico.* Se entiende por producir una lesión por la acción mecánica de elementos de máquinas, herramientas, piezas a trabajar o materiales proyectados, sólidos o fluidos.

Se recomienda:

- No introducir las manos o partes del cuerpo en el área de trabajo cuando el prototipo esté en funcionamiento.
- Al momento de colocar los elementos que van a ser soldados, debe estar el prototipo apagado.
- No intentar parar el movimiento del brazo con el cuerpo.
- Nunca suponer que un programa ha terminado porque el brazo no se está moviendo, puede esperar una señal para seguir ejecutando su programación.
- Asegurarse que el prototipo esté apagado al momento de realizar una inspección en los elementos.
- Conocer la ubicación de los elementos que causan movimiento o parada del prototipo, como botones de encendido y apagado del prototipo y parada de emergencia.
- Conocer las señales visuales que indican si el prototipo está o no en funcionamiento.

4.3.3 *Riesgo físico.* Son factores ambientales que provocan efectos adversos a la salud del trabajador y que pueden producir efectos nocivos de acuerdo a la intensidad y tiempo de exposición.

Entre estos están el ruido, temperaturas extremas, ventilación, iluminación, presión, radiación y vibración.

Se recomienda:

- Ubicar el prototipo en un ambiente ventilado.
- Verificar que la iluminación sea la adecuada para desarrollar la actividad con seguridad.

- Utilizar el equipo de protección personal adecuado.

4.3.4 *Riesgo químico.* Es el riesgo susceptible de ser producido por una exposición no controlada a agentes químicos. Estos son polvo, gases, humos, vapores aerosoles nieblas, fibras y líquidos.

Se recomienda:

- Utilizar el equipo de protección personal adecuado.
- Realizar las prácticas en ambientes ventilados.
- Mantener la distancia adecuada el operario del prototipo mientras esté encendido.

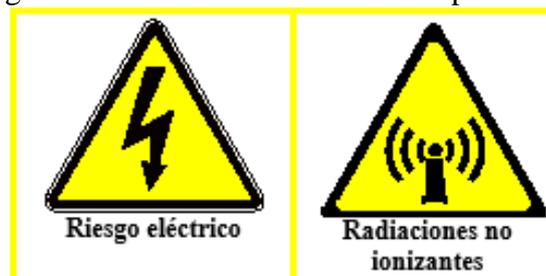
4.3.5 *Equipos de protección individual.* Para garantizar la seguridad del operario, este debe utilizar de manera obligatoria todos los equipos de protección individual que se indican a continuación:

- Máscara para soldar.
- Mandil u overol.
- Gafas de protección.
- Guantes para soldar.

4.3.6 *Señalización.* Según los riesgos anteriormente mencionados se ha dispuesto colocar la señalética adecuada en el prototipo, es aconsejable que el operario antes de comenzar con el funcionamiento del prototipo primero visualice la señalética expuesta.

La señalética a utilizar es en forma de panel. Las señales de advertencia o precaución a utilizar se muestran en la siguiente figura:

Figura 87. Señales de advertencia o precaución



Fuente: Autores

Las señales de obligación a utilizar se muestran en la siguiente figura:

Figura 88. Señales de obligación



Fuente: Autores

4.3.7 *Check list del prototipo de brazo robótico soldador.* Antes de iniciar con el funcionamiento del prototipo se recomienda llenar el check list de inicio de operaciones para verificar el estado y funcionamiento del mismo. Ver anexo B.

4.4 Calibración del sistema

Para la puesta en marcha del prototipo es necesario seguir pasos estrictos para obtener el mejor resultado en la ejecución de la soldadura, por lo cual se realiza la calibración del sistema.

4.4.1 Soldadora

- Al insertar el alambre de soldadura se debe calibrar los rodillos de alimentación de tal forma que corra con facilidad por el la cañería de la antorcha hasta la boquilla esto se realiza por medio de una perilla en el seguro de alambre.

Figura 89. Rodillo de alimentación



Fuente: Autores

- Antes de realizar los cordones de soldadura se debe realizar pruebas de soldeo de tal forma que la calibración de la velocidad de suministro de alambre sea óptima para la obtención de un cordón de soldadura de buena calidad.

Figura 90. Regulador de velocidad de suministro de alambre



Fuente: Autores

- Dependiendo del espesor y clase de material que se vaya a soldar se debe regular la perilla de control de la intensidad de soldeo esto es directamente proporcional a mayor espesor mayor intensidad, a menor espesor menor intensidad.

Figura 91. Perilla de control



Fuente: Autores

- Antes de realizar los cordones de soldadura se calibra el paso de CO₂ que es el gas protector para la soldadura, esto se lo realiza desde la perilla de dosificación que se encuentra en el regulador del tanque entre 10 y 12 lt/mm.

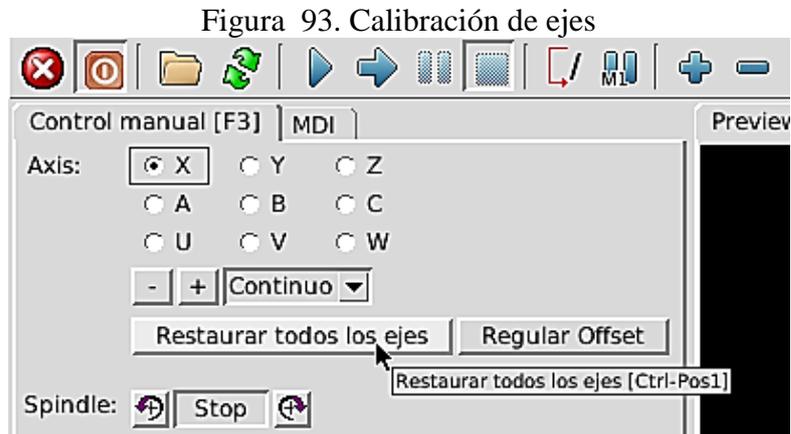
Figura 92. Perilla de dosificación



Fuente: Autores

4.4.2 Brazo Robot

- Desde el programa Linux CNC se calibra los ejes del prototipo, esto se lo lleva a cabo enviando al inicio los ejes.



Fuente: Autores

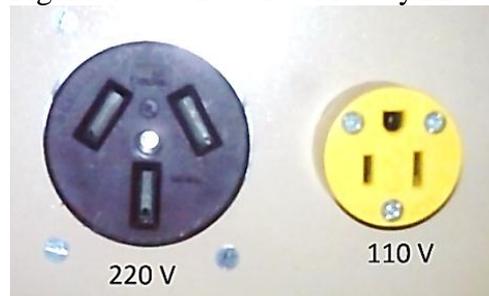
4.5 Puesta en marcha

Para la puesta en marcha del prototipo se debe realizar en forma secuencial para obtener los resultados esperados del prototipo y no provocar daños a sus componentes.

4.5.1 Módulo didáctico

4.5.1.1 Energización del sistema. El sistema opera a corriente de 110 y 220 voltios, los conectores se encuentran en la parte inferior derecha del módulo didáctico, debajo del compartimiento de alambre de soldar, cada uno de sus conectores son claramente diferentes para evitar confusiones al energizar los circuitos y provocar daños irreparables en los sistemas.

Figura 94. Conectores 110 V y 220 V



Fuente: Autores

4.5.1.2 *Energización de circuitos.* Una vez energizado los conectores se procede a energizar los circuitos del prototipo presionando ON en el interruptor general que se encuentra en la parte frontal del módulo didáctico en la puerta de la caja de componentes eléctricos.

Figura 95. Interruptor general



Fuente: Autores

4.5.2 *Computador.* Para comenzar con la operación del prototipo es necesario que se inicie el funcionamiento del computador de control, debido a que este controla sus movimientos.

4.5.2.1 *Encender CPU.* Para encender el CPU de control se debe presionar el botón de ON que se encuentra en la parte frontal del módulo didáctico cerca al puerto de lectura de CD.

Figura 96. ON/Reset Computador



Fuente: Autores

4.5.2.2 *Pantalla de visualización.* Una vez encendido el CPU procedemos a encender la pantalla de visualización, esto se lo realiza presionando el botón de encendido ubicado en la parte inferior derecha de la pantalla.

Figura 97. Encendido de la pantalla de visualización



Fuente: Autores

4.5.2.3 *Inicio de sesión.* Al instalar Linux CNC el sistema operativo pide configurar un usuario y contraseña los cuales son necesarios por tratarse de un software libre y susceptible a modificaciones.

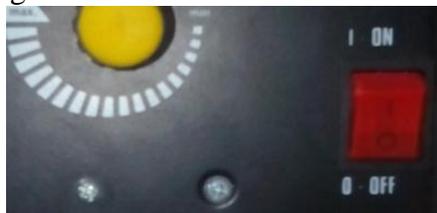
Esto proporciona una referencia de la persona que ha realizado cambios y mejoras en el paquete operativo, por esta razón se introduce estos datos.

Usuario: user.

Clave: linux.

4.5.2.4 *Encendido de la Soldadora.* Para encender la soldadora luego de haber energizado los circuitos se presiona el botón de encendido ubicado en el panel de control de la soldadora en la parte frontal inferior derecha del módulo didáctico.

Figura 98. Encendido de la soldadura



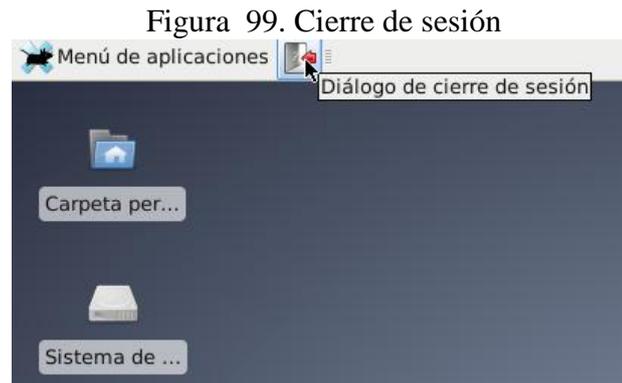
Fuente: Autores

4.6 Apagado del sistema

Para realizar el apagado del sistema se empieza de forma inversa a la puesta en marcha del sistema, para evitar daños en los sistemas eléctricos y electrónicos del prototipo.

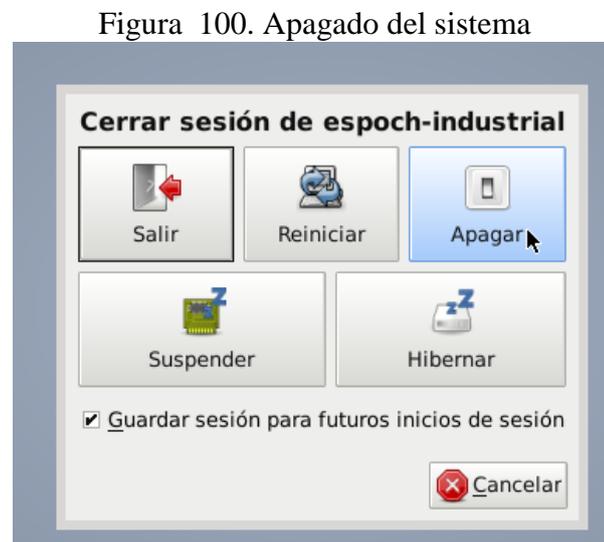
4.6.1 *Apagado de la soldadora.* Para realizar el apagado de la soldadora se presiona el botón de OFF que se encuentra en el panel de control de la soldadora en la parte frontal inferior derecha del módulo didáctico.

4.6.2 *Apagado del Computador.* Para realizar el apagado del computador se debe pulsar en la barra de menú que se encuentra en la parte superior izquierda de la pantalla.



Fuente: Autores

Se desplegará un cuadro de dialogo donde daremos clic en apagar el sistema.



Fuente: Autores

Para realizar el apagado de la pantalla de visualización se presiona el botón de OFF que se encuentra en la parte inferior derecha de la pantalla.

4.6.3 *Apagado del sistema.* Para quitar la energía al módulo didáctico se pulsa el botón de OFF en el interruptor general que se encuentra en la parte frontal del módulo.

4.6.4 *Apagado total.* Se desconecta los cables de energización del suministro de energía de esta forma cortamos el paso de corriente al módulo.

4.7 Prácticas de aplicación

Para la realización de las prácticas de aplicación se ha propuesto una guía práctica de laboratorio para darle un buen funcionamiento al prototipo.

4.7.1 *Guía práctica de laboratorio.* Está guía ayudará al practicante a:

- Conocer todos los elementos que componen el prototipo de brazo robótico soldador.
- Identificar el funcionamiento de la máquina.
- Realizar la programación en Linux CNC.
- Realizar la interfaz entre el ordenador y la máquina.

Ver guía en Anexo C.

4.8 Plan de mantenimiento del prototipo

El plan de mantenimiento permite conservar y restablecer el funcionamiento a un coste mínimo, alarga la vida útil de los elementos y evitar pérdidas a consecuencia de paros inesperados en el prototipo de brazo robótico soldador.

4.8.1 *Mantenimiento Preventivo.* Es el conjunto de actividades que se realiza planificadamente con el fin de precautelar la integridad de un equipo.

4.8.2 *Mantenimiento Correctivo.* Este mantenimiento tiene por objeto corregir, reparar, cambiar los elementos que por su uso están fuera de especificaciones del fabricante para precautelar su correcto funcionamiento.

Ver plan de mantenimiento en Anexo D.

CAPÍTULO V

5. COSTOS

Los costos son los gastos que se presentaron en la construcción del prototipo de brazo robótico soldador, entre esos tenemos los costos directos y costos indirectos.

5.1 Costos directos

Son aquellos que están relacionados directamente a la construcción del prototipo entre estos tenemos los costos de elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos, costos de maquinaria y costos de transporte.

5.1.1 Costos de elementos mecánicos. Los costos de elementos mecánicos a considerar en la construcción del prototipo corresponden a: rodamientos, filamento ABS, acero de transmisión, tubo cuadrado, tol galvanizado, pernos, tuercas, aluminio, herramientas para CNC, pintura, vidrio polarizado, madera, mordaza, plancha caliente, ángulo, electrodos, resortes, acrílicos y brocas.

Tabla 21. Costos directos, elementos mecánicos

Ítem	Descripción	Cantidad	V. unitario [USD]	V. total [USD]
1	Rodamientos varias medidas	1	40,10	40,10
2	Filamento ABS	3	90,00	270,00
3	Acero de transmisión	1	20,00	20,00
4	Tubo cuadrado	3	16,94	50,82
5	Tol galvanizado	1	16,31	16,31
6	Pernos y tuercas	50	0,15	7,50
7	Aluminio (libras)	100	2,00	200,00
8	Herramientas para CNC	2	50,00	100,00
9	Pintura	1	80,00	80,00
10	Vidrio pol. 6 líneas	2	30,00	60,00
11	Madera	1	32,00	32,00
12	Mordaza 10cm	1	18,95	18,95
13	Plancha caliente 2mm	1	37,00	37,00
14	Ángulo	1	20,47	20,47

Fuente: Autores

Tabla 21. (Continuación)

15	Electrodos (libras)	2	2,04	4,08
16	Resortes	2	3,00	6,00
17	Acrílicos	1	80,00	80,00
18	Caja de brocas	1	20,00	20,00
Total				1063,23

Fuente: Autores

5.1.2 *Costos de elementos eléctricos.* Los costos de los elementos eléctricos a considerar en la construcción del prototipo corresponden a: motores, borneras, botonera, breaker, contactor, cables, enchufe, tomacorriente, fusibles, luces piloto, portafusible, pulsadores, riel DIN, terminal talón, adaptador, relé y fuentes.

Tabla 22. Costos directos, elementos eléctricos

Ítem	Descripción	Cantidad	V. unitario [USD]	V. total [USD]
1	Motores 4,5 Nm	2	200,00	400,00
2	Motores 1,3 Nm	4	30,00	120,00
3	Borneras	3	1,90	5,70
4	Botonera 30 A	1	6,10	6,10
5	Breaker	1	4,60	4,60
6	Cable flexible	5	0,59	2,95
7	Contactor 18 A 24 V	1	45,00	45,00
8	Enchufe	2	2,60	5,20
9	Fusible y portafusible	3	1,88	5,64
10	Luces piloto	2	1,85	3,70
11	Tomacorriente	1	4,50	4,50
12	Pulsador de emergencia	1	2,70	2,70
13	Riel DIN	1	2,90	2,90
14	Terminal talón	4	0,39	1,56
15	Adaptador p/tomacorriente	1	1,05	1,05
16	Relé	2	28,00	56,00
17	Fuentes 12-24V	3	50,00	150,00
18	Ventiladores	5	3,00	15,00
19	Manguera anillada	1	30,00	30,00
Total				862,60

Fuente: Autores

5.1.3 *Costos de elementos electrónicos.* Los costos de los elementos electrónicos a considerar corresponden a: drivers de 3 y 5 amperios, e interfaz puerto paralelo.

Tabla 23. Costos directos, elementos electrónicos

Ítem	Descripción	Cantidad	V. unitario [USD]	V. total [USD]
1	Drivers de 3 A y 5 A	6	56,67	340,00
2	Interfaz puerto paralelo	2	70,00	140,00
Total				480,00

Fuente: Autores

5.1.4 *Costos de maquinaria.* Los costos de maquinaria fueron la compra de una soldadora, y el alquiler de: torno, compresor, amoladora y cizalla.

Tabla 24. Costos directos, maquinaria

Ítem	Descripción	V. total [USD]
1	Soldadora	500,00
2	Torno	150,00
3	Compresor	30,00
4	Amoladora	10,00
5	Cizalla	10,00
Total		700,00

Fuente: Autores

5.1.5 *Costos de transporte.* Estos costos incluye la movilización que se realizó para la construcción del prototipo.

Tabla 25. Costos directos, transporte

Ítem	Descripción	V. total [USD]
1	Transporte	70,00
Total		70,00

Fuente: Autores

5.1.6 *Costos directos totales.* Los costos directos totales corresponden a la sumatoria de los costos mecánicos, eléctricos, electrónicos, de maquinaria y transporte.

Tabla 26. Costos directos totales

Ítem	Descripción	V. total [USD]
1	Costos mecánicos	1063,23
2	Costos eléctricos	862,60

Fuente: Autores

Tabla 26. (Continuación)

3	Costos electrónicos	480,00
4	Costos de maquinaria	700,00
5	Costos de transporte	70,00
Total		3175,83

Fuente: Autores

5.2 Costos indirectos

Los costos indirectos corresponden a aquellos gastos que no están relacionados directamente a la construcción del prototipo pero si importantes en su fabricación, entre ellos tenemos el costo de impresiones, alimentación, internet y teléfono.

Tabla 27. Costos indirectos

Ítem	Descripción	V. total [USD]
1	C. indirectos	300,00
Total		300,00

Fuente: Autores

5.3 Costo total

El costo total es la sumatoria de los costos directos y costos indirectos en la construcción del prototipo.

Tabla 28. Costos totales

Ítem	Descripción	V. total [USD]
1	Costos directos totales	3175,83
2	Costos indirectos totales	300,00
Total		3475,83

Fuente: Autores

5.4 Costos de reposición

El costo de reposición es el valor que se debe pagar para reponer un elemento o material, a continuación se indica los elementos más susceptibles a cambios del prototipo.

Tabla 29. Costos de reposición

Item	Descripción	Tiempo	Cantidad	V. unitario [USD]	V. total [USD]
1	Rodamientos	1000h	1	2,00	2,00
2	Engranajes	200h	1	30,00	30,00
3	Gas protector	160h	1	150,00	150,00
4	Bobina de alambre	50h	1	50,00	50,00
5	Eje de acero	30-40h	1	2,00	2,00

Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se analizó los tipos de brazos soldadores de las marcas KUKA, EPSON, FANUC, MOTOMAN y ABB, con la finalidad de seleccionar la mejor alternativa para el diseño de construcción.

Se seleccionó elementos mecánicos como engranajes y ejes que fueron diseñados y comprobados mediante cálculos en el programa solidworks para comprobar el trabajo requerido.

Se elaboró el diagrama eléctrico y electrónico del prototipo el cual nos permite observar el estado de conexión de estos elementos.

Se diseñó los elementos que conforman el prototipo de brazo robótico soldador en el programa solidworks verificando la resistencia de los mismos.

Se realizó la programación en Linux CNC por medio de códigos G y la interfaz a través del puerto paralelo.

Se elaboró un manual de operación y mantenimiento del prototipo el cual se indica los planes de mantenimiento preventivo y correctivo con las posibles averías, causas y soluciones de cada elemento y las normas básicas de seguridad para la correcta operación del módulo didáctico.

6.2 Recomendaciones

Usar las guías de prácticas de laboratorio para conocer el correcto procedimiento y no cometer errores.

Antes de efectuar los cordones de soldadura verificar que los parámetros de calibración sean los correctos.

Antes de empezar con el manejo del prototipo de brazo robótico soldador, se debe hacer un reconocimiento del funcionamiento y de todos los elementos que conforman el prototipo llenando el check list propuesto.

Ubicarse detrás del vidrio de protección al momento que la máquina esté en funcionamiento.

Utilizar el manual de mantenimiento y seguridad para evitar el daño inmediato de los componentes del prototipo y proteger la integridad física del operario.

Se recomienda incluir los costos de reposición en el POA y PAC de la Escuela de Ingeniería Industrial.

BIBLIOGRAFÍA

CHÁZARO, Carlos y Alvarez, Octavio. El Acero Hoy. *Elección del tipo de acero para estructuras*. México : IMCA, 2008.

CONDUMEX. *Manual técnico de instalaciones eléctricas*. México : Miguel de Cervantes Saavedra 255, 2009.

DÍAZ, José Javier. Programación de máquinas de CNC con códigos G&M. *tecnoedu.com*. [En línea] Tecnología Educativa S.A., 2010.
<http://tecnoedu.com/Denford/G&M.php>.

EK Roboter S.A. *Sistemas robotizados de soldadura y corte*. Buenos Aires : Kds, 2009.

ESCOBAR, C. Impresoras 3D. [En línea] I3d Digital Media SL, 2010.
<http://impresoras3d.com/blogs/noticias/102832135-el-material-de-impresion-abs-y-sus-caracteristicas>.

FANUC Robotics. El salon online de la industria. *Direct Industry*. [En línea] Virtual Group Expo, 2011. <http://www.directindustry.es/prod/fanuc-robotics/product-14532-470270.html>.

GONZALEZ, Nestor Eduardo. *Manual uso y programación en Español*. Buenos Aires : RobotMatic CNC, 2013.

IÑIGO Madrigal, Rafael y Vidal Idiarte, Enric. *Robots Industriales Manipuladores*. Barcelona : Upc, 2002. ISBN: 84-8301-615-X.

LA WEB DE ANDROID. Todo Robot. *Todo Robot*. [En línea] Wordpress.
<http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobre-motores-paso-a-paso-stepper-motors/>.

NORTON, Robert L. *Diseño de Máquinas*. México : Pearson, 2011. ISBN: 978-607-32-0589-4.

REYES Cortes, Fernando. *Robótica: Control de robots manipuladores*. México : Alfaomega, 2011.

RIVAS, María. *Robótica Industrial: Fundamentos y aplicaciones*. España : S.A. McGraw-hill / Interamerica de España, 2000. ISBN: 9788448128197.

ROBOTER, Kuka. Kuka Robotics. *Kuka Robotics*. [En línea] Kuka Robot Group, 2010. http://www.kuka-robotics.com/es/products/industrial_robots/special/arc_welding_robots/.

ROBOTICS, Abb. El salon de la industria online. *Direct Industry*. [En línea] Virtual Group Expo, 2011. <http://www.directindustry.es/prod/abb-robotics/product-30265-566041.html>.

ROBOTICS, Yaskawa. Motoman. *Motoman*. [En línea] Yaskawa Europe GmbH, 2011. http://www.motoman.es/es/productos/robots/vista-del-producto/?tx_catalgrobot_pi1%5Buid%5D.

ROBOTS, Epson. Producto Robots Epson S5 y S5L de 6 ejes. *Editores online*. [En línea] Editores SRL, 2010. http://www.editores_srl.com.ar/revistas/ie/260/robots_epson.

ROWE, Richard y Jeffus, Larry. *Manual de soldadura GMAW (MIG-MAG)*. Madrid : Paraninfo, 2008.

SUMITEC. Acero grado maquinaria. *Suministros técnicos S.A. Sumitec*. [En línea] <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201018.pdf>.

ZAPATA, Jorge F. Ma San. *Diseño de Elementos de Máquinas 1*. Piura : Prentice, 2013.