

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA  
SEMIAUTOMÁTICA PARA ASISTIR EL PROCESO DE  
SOLDADURA DE RECIPIENTES A PRESIÓN**

PRESENTADO POR:

**ADONIS ERNESTO GUARDADO INTERIANO  
ALEX ALFREDO HERRERA SOSA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2022

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIA GENERAL :

**Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**Dr. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO :

**Ing. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DIRECTOR INTERINO :

**Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Título :

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA  
SEMIAUTOMÁTICA PARA ASISTIR EL PROCESO DE  
SOLDADURA DE RECIPIENTES A PRESIÓN**

Presentado por :

**ADONIS ERNESTO GUARDADO INTERIANO  
ALEX ALFREDO HERRERA SOSA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ**

San Salvador, febrero de 2022

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ**

## **PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA ASISTIR EL PROCESO DE SOLDADURA DE RECIPIENTES A PRESIÓN**

Estudiantes: Brs. Adonis Ernesto Guardado Interiano<sup>1</sup> y Alex Alfredo Herrera Sosa<sup>2</sup>

Docente Asesor: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz<sup>3</sup>

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
Universidad de El Salvador

### **RESUMEN**

En este trabajo de graduación se propone un diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión. Para ello, se realiza una investigación sobre la historia de la soldadura y sus diferentes tipos de aplicaciones, seguido de los diferentes tipos de proceso de confección de recipientes a presión, finalizando con los sistemas de control y automatización, Luego se definen los parámetros de funcionamiento de la máquina basados en la investigación previa, además se plantea el diseño de la misma con dos funciones de soldadura, longitudinal y circunferencial. Con este fin, se procede a diseñar y seleccionar los elementos críticos de la máquina necesita tales como: ejes, sistemas de transmisión, sistemas de control y codificación desarrollando un circuito con dispositivos electrónicos capaz de llevar el control de las funciones propuestas, la codificación se hace utilizando una placa Arduino Uno como mando. Finalmente, se elaboran los planos mecánicos y un estudio económico dividido en tres partes: costo de materia prima, costo de mano de obra directa y costos de mano de obra indirecta.

**Palabras claves:** Soldadura, Control, y Automatización.

---

1 [gi16003@ues.edu.sv](mailto:gi16003@ues.edu.sv)

2 [hs12027@ues.edu.sv](mailto:hs12027@ues.edu.sv)

3 [jonathan.berrios@ues.edu.sv](mailto:jonathan.berrios@ues.edu.sv)

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, Marleni Interiano y Alex Guardado por el esfuerzo y apoyo que demostraron en este largo camino, por creer en mí siempre y apoyarme pese a mis tropiezos, por guiarme y ser mi ejemplo a seguir para poder cumplir mis objetivos y metas.

También dedico este trabajo a mi abuelo José Interiano que en paz descansa, su muerte fue un golpe duro, estuvo conmigo en los primeros años de mi carrera, y me apoyo en todo lo que pudo, desearía poder compartir este momento a su lado y que pudiera ver que todo el esfuerzo y tiempo que dedicó junto a mí valió la pena, siempre estuvo y estará en mi mente por el resto de mi vida.

*Adonis*

## DEDICATORIA

El presente trabajo de graduación se lo dedico principalmente a Dios, por guiarme todo este tiempo y ser mi mayor fuente de inspiración, por darme sabiduría y fortaleza para no rendirme en cada una de las dificultades que afronté durante mi formación académica y poder así, obtener mi anhelo más deseado.

A mis padres Ruth Elizabeth Sosa y José Adán Herrera por todo su amor, trabajo y sacrificio invertido en este proceso de impulsarme a lograr un sueño más. Todas sus oraciones, sus plegarias y sus buenos deseos se han convertido en realidad, realmente no me alcanzarían mil páginas para darles las gracias por todo lo que han hecho por mí hasta el día de hoy, pero quiero que sepan que todo lo que he logrado es gracias a ustedes y no hubiese sido posible sin el calor de su apoyo.

También, dedico este trabajo de graduación, a mi abuela María Octavia Sosa que en paz descanse, sé que desde el cielo me ves sonriendo por haber logrado culminar mi carrera universitaria tal y como te lo había prometido.

*Alex Herrera*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres por apoyarme y creer siempre en mí, por ayudarme económicamente y poder mudarme a San Salvador para estudiar mi carrera, por estar siempre para mí y no dejarme solo.

A mis abuelos, quienes estuvieron conmigo en mis primeros años y me apoyaron siempre, gracias por estar pendientes de mí y no dejarme caer nunca.

A mi novia, quien estuvo conmigo siempre, por apoyarme y no dejarme caer, por motivarme y ayudarme siempre en todo lo que estuviera a su alcance.

A Dios por brindarme salud todo este tiempo, por cuidarme en mis viajes donde me encontraba solo, por alejarme de la delincuencia que aterra este país, y sobre todo por mantenerme en el camino correcto.

A los docentes de la carrera quienes impartieron su conocimiento y me permitieron adquirirlo con buena ética académica para convertirme en un profesional.

Al Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos por darnos la oportunidad de demostrar nuestro conocimiento, por asesorarnos de la mejor manera y guiarnos a realizar las actividades de manera correcta con sus consejos y recomendaciones.

Me agradezco a mí, por no darme por vencido, por trabajar duro a pesar de estar cansado, por desvelarme hasta tarde y levarme temprano, por tener el valor de viajar todos los días a pesar de tener miedo, por no perderme en el estrés y la frustración sacando fuerzas de donde ni siquiera yo sabía que tenía, por todo eso y más, gracias.

*Adonis*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito una de mis metas propuestas.

A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

Agradezco a mi asesor de trabajo de graduación Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz, quien con su experiencia, conocimiento y motivación me orientó en la investigación.

Agradezco a los todos docentes que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador.

*Alex Herrera*

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Breve historia de la soldadura.....	3
1.2. Tipos de soldadura.....	5
1.2.1. Soldadura por arco eléctrico.....	6
1.2.2. Soldadura con energía.....	6
1.2.3. Soldadura oxiacetilénica.....	7
1.2.4. Soldadura por resistencia.....	7
1.2.5. Soldadura de estado sólido.....	8
1.2.6. Soldadura de forja.....	9
1.3. Soldadura MIG/MAG.....	9
1.3.1. Generalidades.....	9
1.3.2. Equipo.....	10
1.3.3. Variables del proceso GMAW (MIG/MAG).....	10
1.3.4. Metal activo gas (MAG).....	17
1.4. Recipientes a presión.....	17
1.4.1. Clasificación de los cilindros a presión.....	17
1.4.2. Norma de fabricación.....	20
1.4.3. Cargas.....	21
1.4.4. Tipos de soldadura en recipientes a presión.....	23
1.5. Sistemas de automatización.....	24
1.5.1. Reseña histórica de los sistemas de control.....	25
1.5.2. Sistemas de control automáticos.....	27
1.5.3. Clasificación de los controladores industriales.....	31
1.5.4. Plataformas electrónicas.....	34
2. PROPUESTA DE DISEÑO.....	39
2.1. Determinación de los parámetros de funcionamiento.....	40
2.1.1. Espesor de la lámina de los cilindros.....	40
2.1.2. Velocidad de alimentación.....	42
2.1.3. Corriente de soldadura.....	44
2.1.4. Diámetro del alambre.....	44
2.1.5. Tensión del arco.....	45
2.1.6. Longitud libre del alambre.....	45
2.2. Diseño de los elementos críticos.....	46
2.2.1. Diseño de tornillos de potencia.....	47
2.2.2. Selección de bandas.....	54
2.2.3. Selección de motor.....	62
2.2.4. Diseño de ejes.....	68
2.2.5. Selección de cojinetes.....	79
2.3. Diseño del circuito de control.....	81
3. ESTUDIO ECONÓMICO.....	85
3.1. Costos directos.....	85

	Pág.
3.1.1. Materia prima.....	85
3.1.2. Costo de mano de obra directa.....	86
3.1.3. Costos de herrería.....	106
3.1.4. Costos de asesoría.....	107
3.2. Costos indirectos.....	108
CONCLUSIONES.....	110
BIBLIOGRAFÍA.....	112
ANEXOS.....	114
Anexo A: Tablas de Propiedades de Materiales.....	114
Anexo B: Código a utilizar para el control mediante Arduino.....	118
Anexo C: Conexiones de Arduino Uno.....	120
Anexo D: Planos Mecánicos.....	126

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Entidades de cada país del subgrupo Centroamericano encargados de adoptar la norma.....	20
Tabla 2.1. Recomendaciones de parámetros para soldadura MIG/MAG.....	44
Tabla 2.2. Cálculo de inercias.....	65
Tabla 2.3. Especificaciones técnicas del motor paso a paso Bipolar NEMA 24.....	67
Tabla 2.4. Cálculos de deflexión.....	78
Tabla 2.5. Elementos del circuito de control.....	81
Tabla 3.1. Costos De Materia Prima.....	86
Tabla 3.2. Velocidades de corte en el torno.....	88
Tabla 3.3. porcentaje de valor para una máquina luego de su uso o explotación.....	89
Tabla 3.4. Costos directos de la máquina.....	107
Tabla 3.5. Costos indirectos para la elaboración del proyecto.....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1	Esquema de la configuración de un sistema GMAW.....10
Fig. 1.2	Relación entre la corriente de soldadura y la velocidad de alimentación del alambre.....11
Fig. 1.3.	Clasificación de los tipos de recipientes a presión.....17
Fig. 1.4	Esquema de un cilindro vertical sin costuras.....19
Fig. 1.5	Esquema de un cilindro vertical con costura.....19
Fig. 1.6	Representación de un elemento de un diagrama de bloques.....28
Fig. 1.7	Representación de un punto de suma.....29
Fig. 1.8	Esquema de un sistema de control cerrado.....30
Fig. 1.9	Esquema de un sistema de control de lazo abierto.....30
Fig. 1.10	Gráfica de rendimiento de un sistema de control ON/OFF a lo largo del tiempo.....31
Fig. 1.11	Diagrama de bloques de un controlador.....33
Fig. 1.12	Raspberry Pi 4 Model B.....36
Fig. 1.13	Arduino UNO R3.....36
Fig. 1.14	BeagleBoard rev.B.....37
Fig. 1.15	Intel Minnowboard MAX.....38
Fig. 2.1.	Mecanismo propuesto para la máquina semiautomática de soldadura MIG/MAG para recipientes a presión.....39
Fig. 2.2.	Recomendaciones de longitud libre del alambre en función al amperaje.....46
Fig. 2.3.	Componentes fundamentales de la máquina a diseñar.....47
Fig. 2.4.	Tornillo de Potencia soporte aéreo.....48
Fig. 2.5.	Tornillo de potencia para movimiento axial.....48
Fig. 2.6.	Tipos de roscas utilizadas para los tornillos de potencia.....49
Fig. 2.7.	Diagrama del eje del tornillo de potencia.....50
Fig. 2.8.	Diagrama cortante del tornillo de potencia.....51
Fig. 2.9.	Diagrama de momento flector del tornillo de potencia.....51
Fig. 2.10.	Diagrama de cuerpo libre del diente del tornillo.....53
Fig. 2.11.	Distribución del sistema de bandas.....55
Fig. 2.12.	Sistema de bandas planas.....56

	Pág.
Fig. 2.13. Diagrama de cuerpo libre de la banda 1 .....	53
Fig. 2.14. Esquema de posicionamiento del cilindro y los rodillos.....	62
Fig. 2.15. Análisis geométrico del rodillo y cilindro.....	63
Fig. 2.16. Análisis estático del sistema cilindro-rodillo.....	64
Fig. 2.17. Motor paso a paso bipolar NEMA 24.....	68
Fig. 2.18. Ejes a diseñar para la máquina.....	69
Fig. 2.19. Esquema del sistema del eje principal.....	69
Fig. 2.20. Análisis estático del eje principal y sus elementos.....	70
Fig. 2.21. Esquema del diseño del eje principal.....	70
Fig. 2.22. Análisis de fuerzas y diagrama de momentos en el plano XY del eje principal.....	72
Fig. 2.23 Análisis de fuerzas y diagrama de momentos en el plano XZ del eje principal 34.....	72
Fig. 2.24 Diagrama de concentrador de esfuerzo a la flexión para un cambio de sección35.....	73
Fig. 2.25 Esquema de análisis de deflexión.....	77
Fig. 2.26 Esquema y dimensionamiento del eje 2.....	78
Fig. 2.27 Esquema y dimensionamiento del eje 3.....	79
Fig. 2.28 Esquema y dimensionamiento del eje 4.....	79
Fig. 2.29 Diagrama de bloque del sistema de control de velocidad.....	81
Fig. 2.30 Circuito del sistema de control.....	80
Fig. 2.31 Circuito del sistema de control para los motores.....	83
Fig. 3.1. Especificaciones para el cálculo de costos de la polea de cambio.....	91
Fig. 3.2. Especificaciones para el cálculo de costos de las poleas con rodamiento.....	92
Fig. 3.3. Especificaciones para el cálculo de costos de polea superior.....	93
Fig. 3.4. Especificaciones para el cálculo de costos de polea central.....	95
Fig. 3.5. Especificaciones para el cálculo de costos de eje principal.....	96
Fig. 3.6. Especificaciones para el cálculo de costos de eje de motor.....	97
Fig. 3.7. Especificaciones para el cálculo de costos de eje de banda vertical.....	99
Fig. 3.8. Especificaciones para el cálculo de costos de los tornillos de potencia..	101
Fig. 3.9. Especificaciones para el cálculo de costos de los rieles.....	103
Fig. 3.10. Dimensiones del carrito transportador.....	104

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- AISC: Instituto americano del acero de construcción
- ANSI: Instituto americano de estándares nacionales
- ASME: Sociedad americana de ingenieros mecánicos
- ASTM: Sociedad americana de ensayos mecánicos
- AWS; Sociedad americana de soldadura
- BSI: Institución estándar británica
- C: Distancia entre centros
- CCEN: Corriente continua con electrono negativo
- CCEP: Corriente continua con electrodo positivo
- CD: Estirado en frío
  - d: Diámetro interno
  - D: Diámetro externo
  - D<sub>p</sub>: Diámetro primitivo
- E(t): Señal de error
- E/S: Entrada y Salida
- E: Voltaje
- FACW: Soldadura de flujo tubular o Fluxcore
- GLP: Gas licuado de petróleo
- GMAW: Soldadura MIG/MAG semiautomática
- GTAW: Soldadura con electrodo de tungsteno
- HR: Laminado en caliente
  - I: Corriente
  - K: Factor Dinámico para bandas
- K(p): Constante de proporcionalidad
- $\mu$ : Coeficiente de fricción
- MAG: Soldadura por gas activo de metal
- MIG: Soldadura por gas inerte de metal
  - n: Factor de seguridad
  - P: Presión

p: Paso  
PCB: Circuito impreso  
 $Pot_d$ : Potencia de diseño  
 $Pot_{eje}$ : Potencia en el eje  
 $Pot_n$ : Potencia nominal  
PWM: Modulación por ancho de pulsos  
RAM: Memoria de acceso aleatorio  
RTCA: Reglamento técnico centroamericano  
s: Velocidad de deposición del alambre de soldadura  
 $S_{m\acute{a}x}$ : Esfuerzo a carga a la tracción  
SATA: Interfaz de transferencia de datos  
SAW: Soldadura de arco sumergido  
SD: Tarjeta de memoria “Secure Digital”  
SMAG: Soldadura con electrodo revestido  
T(d): Tiempo derivado  
T(i): Tiempo integral  
USB: Puerto de seriado universal  
v: Velocidad tangencial y Factor de rotación del cojinete  
V: Velocidad  
W: Peso  
Y(t): Señal de salida  
 $\gamma$  Peso específico  
 $\eta$ : Eficiencia  
 $\theta$ : Ángulo de contacto entre banda y polea  
 $\rho$ : Densidad  
 $\sigma$ : Esfuerzo de compresión  
 $\tau$ : Esfuerzo cortante  
 $\omega$ : Velocidad angular

## INTRODUCCIÓN

La soldadura es una de las técnicas más antiguas para la unión de dos elementos mecánicos, data del año 310 en la India, cuando fue construido el Pilar de hierro de Delhi, desde entonces la soldadura ha ido evolucionando con el tiempo teniendo el mayor auge en las guerras mundiales, con la búsqueda de la mejor alternativa se crearon diferentes métodos y equipos para soldar.

Así, uno de ellos y de los más utilizados en la industria automotriz es la soldadura MIG, la cual es semiautomática, el material de aporte viene en rollos y es conducido por un mecanismo hasta la salida en una pistola donde a la vez sale un gas inerte que protege el cordón de soldadura; el trabajo de graduación parte de una investigación sobre las diferentes aplicaciones de la Soldadura MIG y en la búsqueda de la aplicación de esta en la soldadura de cilindros o recipientes que serán sometidos a altas presiones o para almacenamiento.

El diseño propuesto es una máquina semiautomática, capaz de ser seteada manualmente y que las operaciones de soldadura sean automáticas, las operaciones de soldadura serán del tipo longitudinal y circular, con lo cual se diseñarán dos rodillos para que el cilindro rote y se efectúe la soldadura alrededor del cilindro, de esta forma realizar la unión, para la soldadura longitudinal se diseñará un sistema de transporte que guíe la pistola y se efectúe la unión de manera continua, la máquina será capaz de cambiar de modo longitudinal a rotacional manualmente, y de fácil desmontaje.

Se diseñará cada componente de la máquina partiendo del sistema de transmisión, para el modo rotacional, se utilizarán dos rodillos, en una de ellos se colocará una polea conecta al motor y el otro será un rodillo loco que actuará en conjunto con el cilindro, con un cálculo de fuerzas se diseñará cada eje y el diámetro de cada rodillo, así como la distancia máxima entre centros de los mismos.

El diseño continuará con un sistema de transmisión por bandas, para el mecanismo de transmisión longitudinal, formando un conjunto de 3 bandas, con

desmontaje en el eje del motor para el cambio de modos. El cambio de movimiento se realizará mediante tornillos sin fin y corona, de manera que se utilice el mismo motor para ambos modos, sin afectar uno de otro.

Para el mecanismo de movimiento longitudinal se utilizará un tornillo de potencia, en un extremo se colocará una corona acoplada a un tornillo sinfín, se diseñará un carrito que tendrá movimiento en el tornillo de potencia, y será guiado por un riel paralelo al tornillo, en este carrito se acoplara un brazo el cual contiene la pistola para soldar.

Se realizará un análisis de potencia entre ejes con el fin de seleccionar el motor, este debe ser capaz de romper el reposo del sistema en conjunto con el cilindro a soldar, además, se seleccionará un reductor de velocidad para calibrar la velocidad de soldadura idónea para cada espesor de cilindro.

Todas las operaciones de soldadura serán automáticas, para ello se realiza una investigación sobre los sistemas de automatización, seleccionando un sistema de Arduino Uno para el control del circuito, se realizará una propuesta del sistema de control, así como la codificación del mismo, de igual forma se diseñará un programa que calcule la cantidad de cordones necesarios para el espesor del cilindro

## **1. MARCO TEÓRICO**

A través de la historia la soldadura ha formado parte de los diferentes avances tecnológicos y se ha obligado a evolucionar ella misma desarrollando nuevos métodos y descubriendo nuevos campos de aplicación, así a continuación se presenta una recopilación de datos históricos y de aplicación para la soldadura principalmente automatizada.

### **1.1. BREVE HISTORIA DE LA SOLDADURA**

Aproximadamente en el año 310, en la India, fue construido el Pilar de hierro de Delhi, con un peso de 5.4 toneladas y utilizando la soldadura para el proceso. Más tarde durante la Edad Media, se produjeron grandes avances en la soldadura de fragua, gracias a estos, los herreros conseguían grandes resultados golpeando repetidamente, mientras calentaban el metal sin parar hasta conseguir la unión [1].

Posteriormente, en el siglo XIX los procesos de soldadura evolucionaron, así en el año 1800 el químico Sir Humphrey Davy descubrió el arco eléctrico, dando origen al descubrimiento de la soldadura por arco gracias a la invención del electrodo de metal por el ruso Nikolai Slavyanov y el norteamericano C.L. Coffin. La soldadura por arco durante estos años tuvo gran popularidad, así en 1900 surgió la técnica de soldadura por arco de carbón en la cual se utilizaba un electrodo de carbón, en gran Bretaña se inventó el electrodo de metal recubierto, y en 1919 C.J. Holslag invento la soldadura por corriente alterna [1].

A partir de principios del siglo XX se ha ido desarrollando la tecnología de soldadura MIG/MAG. Se data, que a partir de 1919 se comenzaron las investigaciones sobre la relación del uso de gases de protección en el proceso de soldadura. Estas investigaciones se basaron principalmente en dos tipos de gases: Inertes (sobre todo helio y argón) y Activos ( $\text{CO}_2$ ). En 1920 importantes avances fueron hechos en la tecnología de la soldadura, incluyendo la

introducción de la soldadura automática en la que el alambre del electrodo era alimentado continuamente. Durante la siguiente década, posteriores avances permitieron la soldadura de metales reactivos como el aluminio y el magnesio. Esto, conjuntamente con desarrollos en la soldadura automática, la soldadura bajo corriente alterna, y los fundentes, alimentaron una importante extensión de la soldadura por arco durante los años 1930 y durante la Segunda Guerra Mundial [1].

Sin embargo, durante todos estos años aún se usaban electrodos no consumibles y fue en 1957, cuando se inició el proceso de soldadura por arco con núcleo fundente, en el que el electrodo de alambre auto blindado podía ser usado con un equipo automático, de esta forma nace la soldadura MIG. En 1952 otras investigaciones llevaron a que se empezara a utilizar gas activo para el proceso, ya que presentaba un arco de mayor temperatura, surgiendo así el proceso MAG [1].

Una de las aplicaciones de la Soldadura MIG/MAG es soldar recipientes a presión; a finales de los años 1700 sobresale el uso de calderas y recipientes a presión, aunque fue Leonardo da Vinci en 1495 quien inicio sus diseños; sin embargo, no fue hasta 1911 que se normaliza el diseño y fabricación de los mismos por ASME, con ello surgen numerosas sociedades como Asociación Americana de Estándares (ASA), ahora Instituto Americano de Estándares Nacionales (ANSI) el Instituto Americano del Acero de Construcción (AISC) y la Sociedad Americana de Soldadura (AWS) [1].

Los códigos estándares fueron establecidos para proporcionar métodos de fabricación, registros y reportar datos de diseño. Las secciones dedicadas a la fabricación de calderas y recipientes a presión son las Sección VII y Sección VIII respectivamente y la Sección IX habla de la soldadura que se debe aplicar dependiendo de la aplicación del recipiente [10].

Los materiales usados para el diseño y fabricación de recipientes a presión, también están regidos por Normas y Códigos. Así, en el Código ASME la NRF-028-PEMEX-2004 Capítulo 8, párrafo 8.1.1, establece que los materiales

sujetos a esfuerzos debido a la presión para construcción de recipientes, se deben fabricar de conformidad con las especificaciones de la Sección II [10].

Así, la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (American Society For Testing and Materials, ASTM) y la Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society, AWS) son las autoridades máximas en Estados Unidos, mientras que en Inglaterra la Institución Estándar Británica (British Standard Institution, BSI) es la encargada de normalizar el uso de materiales y soldaduras [2].

Los tres aspectos fundamentales que intervienen para una adecuada selección del material son los siguientes: Tipos de fluido a manejar, condiciones de temperatura y presión, facilidad para adquirir el material en el mercado.

Normalmente los recipientes deben ser diseñados al menos para la más severa condición de presión esperada en operación normal más un incremento del valor mayor del 10% o  $2.11 \text{ kg/cm}^2$  (30 psi), lo que da como resultado una presión de diseño [2].

En cuanto a la temperatura usada en el diseño, ésta no debe ser menor que la temperatura medida del metal (a través del espesor) esperada bajo condiciones de operación en la parte considerada, también es usual que a la temperatura antes descrita que está entre 0 y  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  se le haga un incremento mínimo de  $14 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Cuando un recipiente está sometido a una presión interna, se generan esfuerzos tangenciales y longitudinales, por lo que, para el diseño del equipo, ambos esfuerzos deben ser determinados [2].

## **1.2. TIPOS DE SOLDADURA**

La soldadura posee múltiples áreas de aplicación, es por ello que existe una amplia variedad de técnicas para el mismo fin “la unión de dos metales”. Así, a continuación, se presenta los diferentes tipos de soldadura.

### **1.2.1. SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO**

La técnica de soldadura por arco eléctrico consiste en la fusión de un metal a temperatura elevada empleando un diferencial de potencial y un valor de intensidad de corriente eléctrica determinado. Así, por medio de esta diferencia de potencial el aire se ioniza y los electrones son transportados a través de los electrodos y la pieza a soldar. El calor generado (4000 °C), funde los metal base y de aporte, creando así el denominado cordón de soldadura [3].

Entre los tipos de soldadura por arco se pueden encontrar:

- Soldadura con electrodo revestido SMAG
- Soldadura MIG/MAG semiautomática GMAW
- Soldadura de Flujo Tubular o Fluxcore FACW
- Soldadura con electrodo de tungsteno TIG o GTAW
- Soldadura de arco sumergida SAW

### **1.2.2. SOLDADURA CON ENERGÍA**

En la soldadura láser no se utiliza aporte de ningún material, por lo que la soldadura se realiza únicamente por la fusión de la zona a soldar. Mediante espejos se focaliza toda la energía del láser en una zona extremadamente reducida del material. Debido a la gran energía aportada incluso después que el material llegue a la temperatura de fusión, se produce la ionización de la mezcla del material fundido con los vapores generados en el proceso (formación de plasma). La capacidad de absorción energética del plasma es mayor incluso que la del material fundido, por lo que prácticamente toda la energía del láser se transmite directamente y sin pérdidas al material a soldar. La alta temperatura causada por la absorción de energía del plasma continúa mientras se produce el

movimiento del cabezal rodeada con material fundido a lo largo de todo el cordón de soldadura [4].

El aporte de un gas inerte como argón o helio en el proceso de soldadura evita la formación de burbujas de oxígeno durante la fase líquida del material, atenuando así la porosidad en la soldadura [4].

### **1.2.3. SOLDADURA OXIACETILÉNICA**

Este tipo de soldadura es utilizada para múltiples usos industriales, y además tiene la ventaja que es bastante barata, aunque ha sido algo relegada para la soldadura por arco [5]. En el proceso de soldadura se utilizan dos gases para producir la combustión, uno de ellos es el gas combustible, aquel que se consumirá durante el proceso de combustión, en este caso el acetileno, el otro, que se denomina gas comburente, es el gas que aviva y acelera la combustión; en este caso es el oxígeno.

El proceso se origina por el intenso calor de la llama oxiacetilénica que eleva la temperatura de la junta de las dos piezas de metal base y el metal de aporte, hasta fundirlas localmente. Así, el metal fundido fluye sobre la junta soldada conforme la llama avanza. Luego con forme el metal fundido se solidifican se produce el cordón de soldadura y las piezas de metal base quedan unidas.

### **1.2.4. SOLDADURA POR RESISTENCIA**

También conocida como soldadura de punto, este tipo de soldadura se basa en una corriente eléctrica y la aplicación de una carga entre dos piezas metálicas. La corriente producida va a fundir una sección muy pequeña o un punto en ambos metales, consiguiendo su unión [5].

La ventaja que tiene este tipo de soldadura, frente a otros tipos de soldadura como la soldadura por arco eléctrico o la soldadura oxiacetilénica, es que es mucho más fácil de automatizar y utilizar en procesos de fabricación simples. Mientras sus grandes desventajas están en que únicamente se puede utilizar para unir dos piezas metálicas superpuestas, lo que la hace bastante limitada, y además tiene unos costos iniciales bastante altos [5].

### **1.2.5. SOLDADURA DE ESTADO SÓLIDO**

La soldadura en estado sólido consiste en la unión de dos piezas metálicas mediante vibración y presión, algo que resulta bastante beneficiosa, al no utilizar ningún tipo de calor para conseguir la fusión de ni uno de los metales utilizados [5].

Con la alta presión y vibración se consigue que los metales intercambien átomos entre ellos mediante el método de difusión, enlazando las dos piezas en uno sólo [5].

Los tipos de soldadura de estado sólido que se encuentran son los siguientes:

- La soldadura ultrasónica,
- Soldadura por explosión,
- Soldadura por fricción,
- Soldadura por rodillos
- Soldadura por pulso electromagnético,
- Soldadura de co-extrusión,
- Soldadura en frío,
- Soldadura por difusión,
- Soldadura exotérmica,
- Soldadura de alta frecuencia,
- Soldadura de presión caliente
- Soldadura por inducción.

En cuanto a los posibles inconvenientes que se encuentran en este tipo de soldadura, está que requiere una gran preparación de la superficie del metal para conseguir poder comenzar la soldadura de estado sólido, con lo que representará esto en los costos [5].

### **1.2.6. SOLDADURA DE FORJA**

En este caso la soldadura de forja se trata del tipo de soldadura más antiguo, ya que ha sido el tipo de soldadura utilizado por los herreros.

Este tipo de soldadura se realiza calentando dos piezas de acero de bajo carbono, calentándolos a ~982 °C y martillándolos juntos [5].

La ventaja que se puede encontrar en este tipo de soldadura es su versatilidad, ya que puede ser utilizada para fabricar una alta gama de productos [5].

Por otro lado, dispone de numerosas desventajas, como son: bastante más tiempo que los otros tipos de soldadura, únicamente los aceros de bajo carbono puede ser soldado, la soldadura puede ser afectada por el carbón que es utilizado para calentar el horno, y la necesidad de herreros con bastante destreza para soldar en forja [5].

### **1.3. SOLDADURA MIG/MAG**

La soldadura MIG/MAG es un tipo de soldadura por arco eléctrico, y la protección del cordón la realiza un gas inerte (MIG) o un gas activo (MAG), el equipo y sus características se presentan a continuación.

#### **1.3.1. GENERALIDADES**

Conocido también como GMAW (Soldadura por Arco Metálico con Gas), fue desarrollado para soldar metales de espesor mayor a ¼ pulg, haciendo uso de un gas inerte para su protección de la atmósfera circundante. Este tipo de soldadura consiste en mantener un arco entre un electrodo consumible de hilo sólido o tubular y la pieza que se va a soldar. El arco y el baño de soldadura están

protegidos mediante un gas inerte. El electrodo usado se alimenta continuamente por una pistola de soldadura. El uso de las soldaduras MIG se ha incrementado por la mayor demanda de las empresas, por la mínima cantidad de pérdidas de materiales y su mayor productividad [6].

### 1.3.2. EQUIPO

El equipo de soldadura GMAW básico se compone de una pistola, una unidad de alimentación de hilo (alambre), un suministrador de hilo, una fuente de alimentación, un suministrador de gas protector con regulado/medidor de caudal, un circuito de control y las mangueras, forros internos y cables asociados como se presenta en la Fig. 1.1 [7].

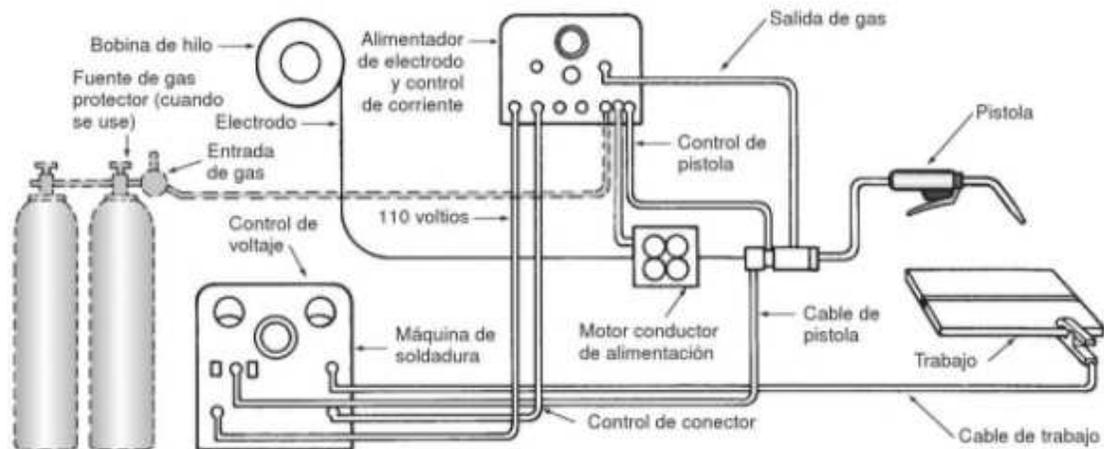


Fig. 1.1. Esquema de la configuración de un sistema GMAW [7].

### 1.3.3. VARIABLES DEL PROCESO GMAW (MIG/MAG)

Como en todo tipo de soldadura existen diferentes variables que afectan de manera positiva o negativa en el proceso y son de vital importancia para la obtención de los resultados deseados, a continuación, se describen las principales variables a considerar en el proceso GMAW:

✓ **Corriente de soldadura (velocidad de alimentación del electrodo).**

Si todas las demás variables se mantienen constantes, el amperaje de soldadura varía con la velocidad de alimentación del electrodo o con la rapidez de fusión siguiendo una relación no lineal. Al variar la velocidad de alimentación, el amperaje de soldadura varía de manera similar si se emplea una fuente de potencia de voltaje constante. Esta relación entre la corriente de soldadura y la velocidad de alimentación del alambre se presenta en la Fig. 1.2 para electrodos de acero al carbono [8].

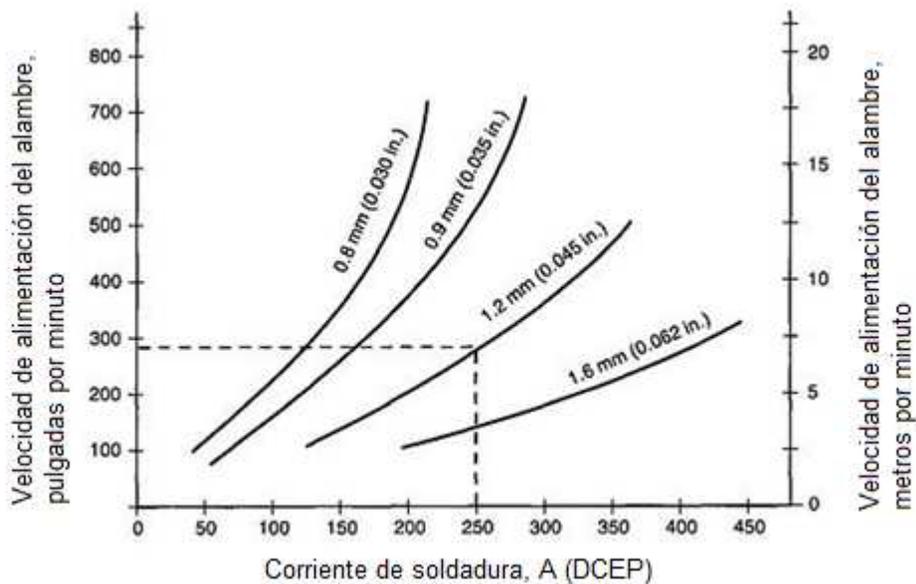


Fig. 1.2. Relación entre la corriente de soldadura y la velocidad de alimentación del alambre [8].

En los niveles de baja corriente para cada tamaño de electrodo, la curva es casi lineal, pero con corrientes de soldadura altas, sobre todo si los electrodos son de diámetro pequeño, las curvas dejan de ser lineales y su pendiente aumenta al incrementar el amperaje de soldadura. Esto se atribuye al calentamiento por resistencia de la extensión del electrodo que sobresale del tubo de contacto [8].

Si todas las demás variables se mantienen constantes, un aumento en la corriente de soldadura (velocidad de alimentación del electrodo) producirá lo siguiente [8]:

- Un aumento en la profundidad de penetración y anchura de la soldadura.
- Un incremento en la tasa de deposición.
- Un aumento en el tamaño del cordón de soldadura.

✓ **Polaridad.**

Casi todas las aplicaciones de GMAW emplean corriente continua con el electrodo positivo (CCEP). Esta condición produce un arco estable, una transferencia de metal uniforme, relativamente pocas salpicaduras, buenas características del cordón de soldadura y profundidad máxima de penetración para una amplia gama de corrientes de soldadura [8].

En el caso de los aceros, la transferencia se puede mejorar añadiendo un mínimo de 5% de oxígeno al escudo de argón (lo que requiere aleaciones especiales para compensar las pérdidas por oxidación) o tratando el alambre para hacerlo termoiónico (lo que eleva el costo del metal de aporte). En ambos casos, las tasas de deposición decaen, con lo que desaparece la única ventaja real de cambiar la polaridad. Sin embargo, en virtud de la alta tasa de deposición y la menor penetración, CCEN se ha usado ocasionalmente en aplicaciones de recubrimiento [8].

Los intentos por usar corriente alternan con el proceso GMAW casi nunca han tenido éxito. La forma de onda cíclica hace inestable el arco porque éste tiende a extinguirse cuando la corriente pasa por cero. Aunque se han desarrollado tratamientos especiales de la superficie del alambre para resolver este problema, el costo de su aplicación ha hecho que la técnica no resulte económica [8].

✓ **Voltaje del arco (longitud del arco).**

En GMAW, la longitud del arco es una variable crítica que se debe controlar cuidadosamente. Por ejemplo, en la modalidad por arco de rocío con escudo de argón, un arco que es demasiado corto experimenta cortocircuitos

momentáneos que causan fluctuaciones de la presión, mismas que bombean aire hacia el chorro del arco y producen porosidad y pérdida de ductilidad por absorción de nitrógeno. Si el arco es demasiado largo, tiene un movimiento lateral aleatorio que afecta tanto la penetración como el perfil de la superficie del cordón. Además, un arco largo puede romper el escudo de gas; si el arco es demasiado corto, la punta del electrodo hará cortocircuito con el charco de soldadura, causando inestabilidad [8].

✓ **Velocidad de recorrido.**

La velocidad de recorrido o de desplazamiento es la tasa de movimiento lineal del arco a lo largo de la unión que se va a soldar. Si todas las demás condiciones se mantienen constantes, la penetración de la soldadura es máxima a una velocidad de recorrido intermedia [8].

Cuando se reduce la velocidad de recorrido, se incrementa la deposición del metal de aporte por unidad de longitud. A velocidades muy bajas, el arco actúa sobre el charco de soldadura, no sobre el metal base, con lo que se reduce la penetración efectiva. Otra consecuencia es un cordón de soldadura ancho [8].

Así, al incrementar la velocidad de recorrido, en un principio se incrementa también la cantidad de energía térmica que se transfiere del arco al metal base, porque el arco actúa de manera más directa sobre el metal base. Si continúa el aumento en la velocidad de recorrido, se impartirá al metal base menos energía térmica por unidad de longitud de la soldadura. Por lo tanto, al incrementar la velocidad de recorrido, la fusión del metal base primero aumenta y luego disminuye. Si se aumenta todavía más la velocidad de recorrido, se presentará una tendencia al socavamiento a lo largo de los bordes del cordón de soldadura, porque no se depositará suficiente metal de aporte para rellenar el trayecto fundido por el arco [8].

✓ **Extensión del electrodo.**

Un aumento en la extensión del electrodo produce un aumento en su resistencia eléctrica. El calentamiento por resistencia, a su vez, hace que se eleve la temperatura del electrodo, lo que aumenta ligeramente la tasa de fusión del mismo. La mayor resistencia eléctrica hace que aumente la caída de voltaje entre

el tubo de contacto y el trabajo, esta caída es detectada por la fuente de potencia, la cual compensa este aumento de resistencia reduciendo la corriente. Esto de inmediato reduce la tasa de fusión del electrodo y permite que se acorte la longitud física del arco. En consecuencia, a menos que haya un incremento de voltaje en la máquina soldadora, el metal de aporte se depositará en un cordón de soldadura angosto y de corona alta [8].

La extensión de electrodo deseable generalmente está entre 6 y 13 mm (1/4 y 1/2 pulg) para la transferencia en cortocircuito y entre 13 y 25 mm (1/2 y 1 pulg) para los demás tipos de transferencia de metal [8].

#### ✓ **Orientación del electrodo (ángulo respecto a la dirección de desplazamiento)**

Como en todos los procesos de soldadura por arco, la orientación del electrodo con respecto a la unión por soldar afecta la forma y la penetración del cordón de soldadura, y este efecto sobre el cordón es mayor que el del voltaje del arco o el de la velocidad de recorrido. La orientación del electrodo se describe de dos maneras: (1) por la relación entre el eje del electrodo y la dirección de desplazamiento (el ángulo de desplazamiento) y (2) con el ángulo entre el eje del electrodo y la superficie adyacente del trabajo (ángulo de trabajo) [8].

Cuando el electrodo se saca de la perpendicular dándole un ángulo de ataque, y todas las demás condiciones se mantienen sin alteración, la penetración disminuye y el cordón de soldadura se hace más ancho y plano. La penetración máxima en la posición plana se obtiene con la técnica de arrastre, empleando un ángulo de arrastre de unos 25° respecto a la perpendicular. Esta técnica también produce un cordón más convexo y angosto, un arco más estable y menos salpicaduras en la pieza de trabajo. Para todas las posiciones, el ángulo de desplazamiento que se usa normalmente es un ángulo de arrastre del orden de 5 a 15°, ya que así se controla y protege mejor el charco de soldadura [8].

En algunos materiales, como el aluminio, se prefiere una técnica de ataque. Esta técnica produce una "acción de limpieza" adelante del metal de soldadura fundido que reduce su tensión superficial y la oxidación del metal base. Si se desea producir soldaduras de filete en la posición horizontal, el electrodo

se deberá colocar a un ángulo de 45° respecto a la vertical (ángulo de trabajo) [8].

✓ **Posición de la unión que se va a soldar.**

Casi todas las soldaduras con GMAW en la modalidad de aspersion se efectúan en las posiciones plana u horizontal, pero si el nivel de energía es bajo, la GMAW a pulsos y en cortocircuito se puede usar en todas las posiciones.

A fin de vencer la atracción de la gravedad sobre el metal de soldadura al soldar en las posiciones vertical y sobre cabeza, por lo regular se usan electrodos de diámetro pequeño, con transferencia de metal en cortocircuito o bien por aspersion con corriente continua a pulsos. Los electrodos con diámetros de 1.1 mm (0.045 pulg) o menos son los más apropiados para soldar fuera de posición. El bajo aporte de calor permite al charco de soldadura que solidifique rápidamente. Cuando se sueldan láminas en posición vertical, la dirección de soldadura más efectiva casi siempre es hacia abajo [8].

Si se suelda en la posición "plana", la inclinación del eje de soldadura respecto al plano horizontal influirá en la forma del cordón de soldadura, en la penetración y en la velocidad de recorrido. En la soldadura circunferencial en posición plana, el trabajo gira debajo de la pistola de soldadora y la inclinación se obtiene moviendo la pistola en cualquier sentido que la añeje del centro neutro superior [8].

Si las uniones lineales se colocan con el eje de soldadura a 15° respecto a la horizontal y se suelda de manera vertical descendente, es posible reducir el refuerzo de la soldadura en condiciones que producirían un refuerzo excesivo si se colocara el trabajo en la posición plana. Además, con el desplazamiento vertical descendente casi siempre es posible aumentar la velocidad. Al mismo tiempo, la penetración es menor, lo que resulta benéfico cuando se sueldan láminas [8].

La soldadura vertical descendente afecta el perfil y la penetración de la soldadura. El charco de soldadura tiende a fluir hacia el electrodo y precalienta el metal base, sobre todo en la superficie. Esto produce una zona de fusión de forma irregular, llamada depósito secundario. Al aumentar el ángulo de

inclinación, la superficie media de la soldadura adquiere una depresión, la penetración disminuye y la anchura del cordón aumenta [8].

### ✓ **Gas protector**

Las características de los diversos gases y su efecto sobre la calidad de la soldadura y las características del arco se analizan en la sección sobre consumibles del presente trabajo [8].

La selección de los gases se determina por:

- Características del arco de transferencia,
- Posición de la junta,
- Espesor y tipo de metal base,
- Penetración deseada,
- Fusión y forma del bisel, y
- Estabilidad del arco.

Este proceso MIG utiliza gases inertes o también llamados gases puros como el argón y el helio, que se utilizan para:

- Aceros inoxidable,
- Aceros criogénicos,
- Metales no ferrosos,
- Metales reactivos (Ti, Zr y Ta), y
- Aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones.

Estos gases se definen como:

- Argón: Gas noble que pesa 1.4 veces más que el aire, por lo tanto, su utilización se limita a las posiciones plana y filete horizontal, con restringida aplicación en posición horizontal. Posee una baja conductividad térmica, que hace menor la entrada de calor a la pieza y se recomienda para espesores menores [8].
- Helio: Gas puro que es 7 veces más ligero que el aire. Posee una alta conductividad térmica (mayor entrada de calor) que lo hace recomendable para espesores mayores y metales muy conductores (Al y Cu), Alto poder ionizador [8].

### 1.3.4. METAL ACTIVO GAS (MAG)

Este método de soldadura utiliza mezcla de gases activos y gases puros, que se utilizan para la soldadura de aceros al carbono y aceros de baja aleación.

Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>): Es el gas más utilizado por su bajo costo, alta velocidad de soldeo, buena penetración, presenta un arco áspero y con tendencia al salpicado, sanidad en los depósitos con buenas propiedades mecánicas [8].

## 1.4. RECIPIENTES A PRESIÓN

Un recipiente a presión es cerrado y diseñado para soportar gases o líquidos a una presión sustancialmente diferente de la presión ambiental, ya sea por presión interna o presión externa, independientemente de su forma y dimensiones.

### 1.4.1. CLASIFICACIÓN DE LOS CILINDROS A PRESIÓN

Los diferentes tipos de recipientes a presión que existen, se clasifican como se presenta en la Fig. 1.3.

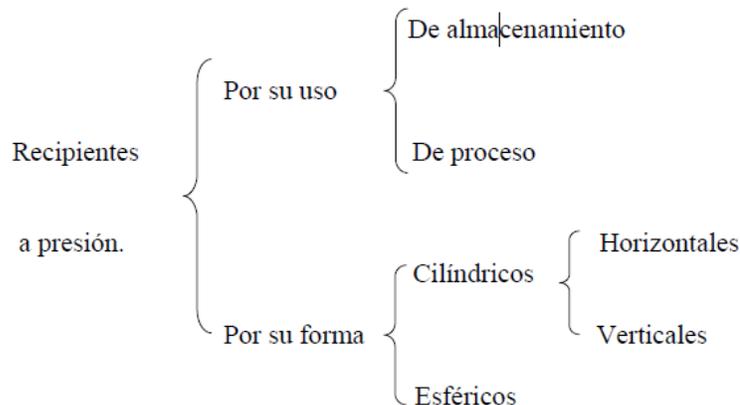


Fig. 1.3. Clasificación de los tipos de recipientes a presión.

El Código ASME Sección VIII Div. 1, define como recipiente a presión, cualquier contenedor cerrado capaz de almacenar un fluido a presión manométrica, sea esta interna o externa.

Existen gran diversidad de formas y de aplicaciones para estos recipientes, pero en esta investigación solo se tomará en consideración una serie de factores para definir un recipiente a presión tales como:

✓ **Por su uso**

Por su uso se pueden dividir en recipientes de almacenamiento y en recipientes de proceso. En la primera característica de almacenamiento esto sirve únicamente para almacenar fluidos a presión, y de acuerdo con su servicio son conocidos como tanques de almacenamiento o tanques acumuladores.

La siguiente característica recipientes a presión de proceso, tienen múltiples y muy variados usos, entre ellos se pueden citar los cambiadores de calor, reactores, torres fraccionadoras, torres de destilación. Esta última categoría no será de estudio para esta investigación.

✓ **Por su forma**

Por su forma, los recipientes a presión, pueden ser cilíndricos o esféricos. Los primeros pueden ser horizontales o verticales, y pueden tener, en algunos casos, aletas para incrementar o decrecer la temperatura de los fluidos según el caso. Los recipientes esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento, y se recomiendan para almacenar grandes volúmenes a altas presiones.

De forma resumida se presenta un mapa conceptual en donde se resume todo lo antes mencionado, cabe destacar que en esta investigación solo se tomará en consideración para este estudio las características de recipientes a presión cilíndricos y de posición horizontal o vertical.

✓ **Recipientes a presión cilíndricos verticales**

Los recipientes a presión verticales se pueden clasificar en dos tipos según su fabricación:

- Cilindro sin costuras: Es un cilindro fabricado con una sola pieza de metal sin juntas soldadas, tal como se presenta en la Fig. 1. 4.

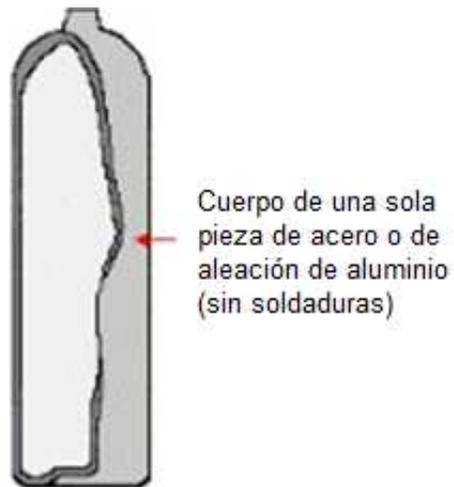


Fig. 1.4. Esquema de un cilindro vertical sin costuras.

- Cilindro soldado: Es un cilindro que se fabrica soldando entre sí dos o más placas metálicas moldeadas, tal como se presenta en la Fig. 1.5.

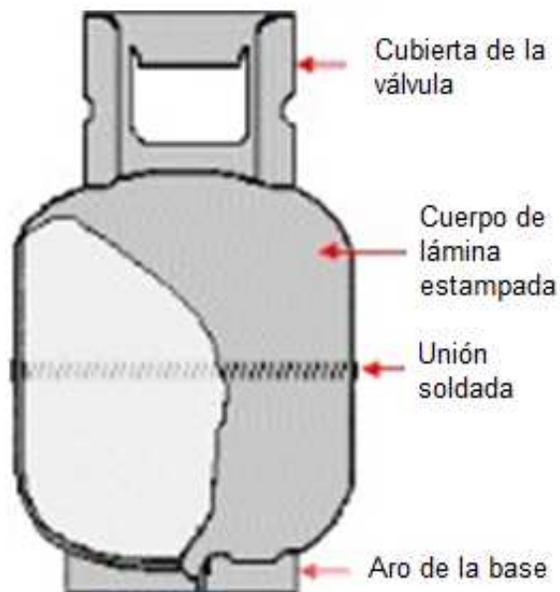


Fig. 1.5. Esquema de un cilindro vertical con costuras.

## 1.4.2. NORMA DE FABRICACIÓN

La fabricación de cilindros a presión debe estar sujeta a una norma internacional que garantice la calidad y seguridad del producto final, debido a que una fabricación defectuosa o desordenada puede causar una falla catastrófica en los cilindros, poniendo en riesgo la vida de operarios de la fabricación u del consumidor final. [9]

Los respectivos Comités Técnicos de Normalización a través de los entes de Normalización de los Estados parten del Protocolo al Tratado General de Integración Económica Centroamericana – Protocolo de Guatemala-, son los organismos encargados de realizar el estudio o la adopción de las Normas Técnicas o Reglamentos Técnicos. Están conformados por representantes de los sectores Académico, Consumidor, Empresa Privada y Gobierno. La norma que se encarga de regir el proceso de fabricación es el Reglamento Técnico Centroamericano, RTCA 23.01.29:05. Recipientes a presión. Cilindros portátiles para contener GLP. Esta Norma ha sido adoptada por los participantes del subgrupo Centroamericano correspondiente.

Tabla 1.1. Entidades de cada país del subgrupo Centroamericano encargados de adoptar la norma.

País	Entidad
Guatemala	COGUANOR
El Salvador	CONACYT
Nicaragua	MIFIC
Honduras	SIC
Costa Rica	MEIC

El objetivo de esta norma es establecer las especificaciones de diseño y fabricación, así como los métodos de prueba y ensayo a que se deben someter los envases cilíndricos portátiles para contener gas licuado de petróleo (GLP). Además, se aplica a los envases cilíndricos portátiles con capacidad desde 4.5 kg (10 lb) hasta 45.4 kg (100 lb) de propano comercial, butano comercial o sus mezclas, los cuales se fabrican con una presión de diseño de 1 655 kPa (240 psi)

y que se utilizan para el almacenamiento y transporte de gas licuado de petróleo para consumo doméstico, industrial y comercial. No se aplica a los envases cilíndricos de acero diseñados para almacenar gas licuado de petróleo utilizado como combustible de automotores, ni a los envases desechables para gas licuado de petróleo, ni a los cilindros portátiles para contener GLP que se encuentren en servicio, los cuales serán objeto de otras regulaciones [9].

### **1.4.3. CARGAS**

Los recipientes a presión están sujetos a diversas cargas, que causan esfuerzos de diferentes intensidades en los componentes del recipiente. El tipo e intensidad de los esfuerzos es una función de la naturaleza de las cargas, de la geometría del recipiente y de su construcción [10].

Se tienen entonces varios tipos de cargas a tomar en consideración en el análisis de cargas, tales como:

- Presión interna o externa en MPa;
- Masa del recipiente y de su contenido en kg;
- Reacciones estáticas del equipo auxiliar, tubería, revestimiento, aislamiento, piezas internas y apoyos;
- Reacciones cíclicas debidas a la presión o a las variaciones térmicas;
- Presión del viento y fuerza sísmica;
- Reacciones por impacto debido choque hidráulico; y
- Gradientes de temperatura y expansión térmica diferencial.

Estas cargas generan esfuerzos alrededor de recipientes como las que siguen:

- Esfuerzo a carga a la tracción.
- Esfuerzo longitudinal a la compresión.
- Esfuerzo primario general de membrana inducido por combinación de cargas.

- Esfuerzo primario general de membrana inducido por combinación de sismos o de presión del viento con otras cargas.
- La resistencia mecánica es una propiedad de un material o de un elemento mecánico. La resistencia de un elemento depende de la clase, tratamiento y procesamiento del material. La aplicación de fuerzas externas al elemento origina los esfuerzos, entre los cuales se tienen el esfuerzo normal y cortante.
- El término factor de seguridad se aplica al factor utilizado para evaluar la condición segura de un elemento. Para evitar una falla estructural, las cargas que una estructura es capaz de soportar deben ser mayores que las cargas a la que estará sometida en servicio. La capacidad de una estructura para resistir cargas, a esto se llama resistencia; entonces se dice que la resistencia verdadera de una estructura debe exceder la resistencia requerida. La razón de la resistencia verdadera a la resistencia requerida se llama factor de seguridad  $n$ .
- Por supuesto, el factor de seguridad debe ser mayor que uno, para que no ocurra la falla. Según las circunstancias se usan factores de seguridad con valores desde ligeramente mayores a uno hasta mayores a diez. Las normas y especificaciones pretenden proporcionar niveles razonables de seguridad sin que se incurra en costos demasiado altos.
- Los factores de seguridad se definen y ponen en práctica de diversas maneras. En muchas estructuras es importante que el material permanezca dentro del intervalo elástico lineal para evitar deformaciones permanentes cuando las cargas actúan, en estas condiciones, el factor de seguridad se establece con respecto al punto de fluencia de la estructura. Por lo tanto, al aplicar un factor de seguridad con respecto al esfuerzo de fluencia (o resistencia de fluencia), se obtiene un esfuerzo permisible, que no se debe exceder en ninguna parte de la estructura, así el esfuerzo permisible será la relación entre el esfuerzo de fluencia y el factor de seguridad  $n$ .

Además, se tienen otras cargas importantes como:

- ✓ **Carga de viento**

Los recipientes largos con relaciones pequeñas t/r, están sujetos a deformación por presión del viento. Según Zick la experiencia indica que un recipiente diseñado para presión externa de 6.8 kPa (1 lb/pulg<sup>2</sup>) puede resistir satisfactoriamente las cargas externas que se presenten en el servicio normal. [10].

#### ✓ **Carga de impacto**

La experiencia demuestra que, durante el transporte, se producen cargas de impacto difícilmente estimables que pueden dañar los recipientes. Al diseñar el ancho de las silletas y los tamaños de las soldaduras, se debe tomar en consideración esta circunstancia [10].

#### ✓ **Corrosión**

La corrosión no es una carga, sin embargo, los recipientes o partes de los mismos que estén sujetos a corrosión, erosión o abrasión mecánica deben tener un margen de espesor para lograr la vida deseada, aumentando convenientemente el espesor del material respecto al determinado por las fórmulas de diseño, o utilizando algún método adecuado de protección [11].

Para eliminar la corrosión se utilizan materiales resistentes, ya sea pinturas como recubrimientos únicamente, o aceros inoxidable para fabricar todo el recipiente. Un recipiente se puede proteger contra abrasión mecánica por medio de parches de placa, los cuales se sueldan o se unen por otros medios al área expuesta del recipiente [11].

### **1.4.4. TIPOS DE SOLDADURA EN RECIPIENTES A PRESIÓN**

Para poder caracterizar el proceso de soldadura a utilizar lo más importante en este punto es saber el material del cual será construido el recipiente. En esta investigación no será de relevancia saber los diversos materiales para construir recipientes a presión, ya que todo este estudio estará enfocado a los recipientes a presión que almacenan aire comprimido ya sea de posición vertical u horizontal [10].

Para la gran mayoría de recipientes a presión de aire comprimido de menos de 300 psi manométrica por lo general se suele implementar el acero ASTM A515 GRADO.60 “Placas de acero para calderas y recipientes a presión” [10].

De acuerdo al código ASME Secc. VIII Div.I Los métodos más comunes de fabricación son:

- Soldadura.
- Forja.
- Soldadura fuerte.

El método de soldadura a utilizar de acuerdo al código ASME secc. VIII div. I se tienen:

- Soldadura con electrodo revestido SMAG,
- Soldadura MIG/MAG semiautomática GMAW,
- Soldadura con electrodo de tungsteno TIG o GTAW, y
- Soldadura de arco sumergida SAW.

## **1.5. SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN**

El control automático ha desempeñado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. El control automático se ha convertido en una parte importante e integral en los sistemas de vehículos espaciales, en los sistemas robóticos, en los procesos modernos de fabricación y en cualquier operación industrial que requiera el control de temperatura, presión, humedad, flujo, entre otras.

### 1.5.1. RESEÑA HISTÓRICA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

Desde la edad antigua el ser humano ha ido desarrollando métodos para cambiar el trabajo manual por un sistema que se encargue de hacer el trabajo por éste, es decir, un sistema automático. Uno de los primeros sistemas automáticos registrados en la historia, toma lugar en la ciudad de Alejandría, ciudad fundada en el norte de Egipto en el año 332 a.C., la cual se convirtió rápidamente en un gran centro cultural y de conocimiento de la Antigüedad. Entre otros edificios, se construyó el “Museion” (palacio de las musas), gran templo del conocimiento que alojaba varias instituciones [12].

En esta época había muchos hombres dedicados al pensamiento y a las matemáticas, como el inventor, ingeniero y matemático Herón de Alejandría (siglo II a.C.) que, entre otros inventos relacionados con la mecánica y la hidráulica, ideó el conocido como «mecanismo de Herón». Herón desarrolló un aparato que quedaba oculto a los ojos de todos excepto de los sacerdotes egipcios, y permitía la apertura automática de las puertas del templo cuando se encendía el fuego del sacrificio y su cierre cuando el fuego se apagaba, provocando el efecto de que los dioses que vivían en el templo hacían magia verdadera [12].

Pero surge a la par la necesidad de aprovechar otra de las fuentes de la naturaleza, la energía eólica. El primer molino de viento fue ideado por Herón (20 - 62 d.C.) y servía para mover los fuelles de un órgano. Los persas, a partir del siglo VII, ya poseían molinos para riego y molienda, formados por alas montadas sobre un palo vertical, cuyo extremo inferior movía una molienda. Estos molinos se difundieron por los países árabes y fueron llevados a Europa por los cruzados (aunque otros investigadores opinan que fueron los mismos árabes quienes los introdujeron en Europa). Se cree que alrededor del siglo XI Inglaterra había adoptado este invento, y en los Países Bajos, un molino se supone que data del 1197. Entre los siglos XI y XIII se difundieron por Europa. El ejemplar que se ha llegado a conocer era de un molino, en que todo el cuerpo giraba alrededor de un eje vertical montado sobre troncos de encina, apoyados sobre una base de ladrillos [12].

Thomas Newcomen en 1712 desarrolló la primera máquina a vapor atmosférica, de la cual, a partir de su trabajo, James Watt esporádicamente desarrolló éste diseño entre 1763 y 1775, con el apoyo de Matthew Boulton mejoró el diseño que permitió ahorrar mucho combustible en comparación con las máquinas anteriores, de forma que concedían licencias basándose en la cantidad de combustible que se podía economizar. Watt nunca dejó de desarrollar la máquina de vapor, introduciendo diseños de doble efecto (con dos cilindros) y varios sistemas para lograr producir el movimiento rotativo a partir de sus máquinas. El diseño de Watt se convirtió en sinónimo de máquina de vapor, y pasó a convertirse en una de las fuerzas impulsoras de la Revolución Industrial. Luego los físicos Minorsky, Hazen y Nyquist, entre muchos otros, aportaron trabajos importantes en las etapas iniciales del desarrollo de la teoría de control [12].

En 1922, Minorsky trabajó en controladores automáticos para el guiado de embarcaciones, y mostró que la estabilidad se puede determinar a partir de las ecuaciones diferenciales que describen el sistema. En 1932, Nyquist diseñó un procedimiento relativamente simple para determinar la estabilidad de sistemas en lazo cerrado, a partir de la respuesta en lazo abierto a entradas sinusoidales en estado estacionario. En 1934, Hazen, quien introdujo el término servomecanismos para los sistemas de control de posición, analizó el diseño de los servomecanismos con relé, capaces de seguir con precisión una entrada cambiante [12].

En los años cuarenta y cincuenta muchos sistemas de control industrial utilizaban controladores PID para el control de la presión, de la temperatura, entre otras. A comienzos de la década de los cuarenta Ziegler y Nichols establecieron reglas para sintonizar controladores PID, las denominadas reglas de sintonía de Ziegler-Nichols [12].

Conforme las plantas modernas con muchas entradas y salidas se vuelven más y más complejas, la descripción de un sistema de control moderno requiere una gran cantidad de ecuaciones. La teoría de control clásica, que trata de los sistemas con una entrada y una salida, pierde su potencialidad cuando se trabaja

con sistemas con entradas y salidas múltiples. Hacia 1960, debido a la disponibilidad de las computadoras digitales fue posible el análisis en el dominio del tiempo de sistemas complejos [12].

Durante los años comprendidos entre 1960 y 1980, se investigó a fondo el control óptimo tanto de sistemas determinísticos como estocásticos, así como el control adaptativo y con aprendizaje de sistemas complejos. Desde la década de los ochenta hasta la de los noventa, los avances en la teoría de control moderna se centraron en el control robusto y temas relacionados. La teoría de control moderna se basa en el análisis en el dominio temporal de los sistemas de ecuaciones diferenciales [12].

La teoría de control moderna simplificó el diseño de los sistemas de control porque se basa en un modelo del sistema real que se quiere controlar. Sin embargo, la estabilidad del sistema depende del error entre el sistema real y su modelo. Esto significa que cuando el controlador diseñado basado en un modelo se aplica al sistema real, éste puede no ser estable. Para evitar esta situación, se diseña el sistema de control definiendo en primer lugar el intervalo de posibles errores y después diseñando el controlador de forma que, si el error del sistema está en dicho intervalo, el sistema de control diseñado permanezca estable. El método de diseño basado en este principio se denomina teoría de control robusto. Esta teoría incorpora tanto la aproximación de respuesta en frecuencia como la del dominio temporal. Esta teoría es matemáticamente muy compleja [12].

### **1.5.2. SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICOS**

Un sistema de control puede tener varios componentes. Para mostrar las funciones de cada componente en la ingeniería de control, por lo general se usa una representación denominada diagrama de bloques y otros elementos que se presentan a continuación [12]:

- ✓ **Diagramas de bloques**

Un diagrama de bloques de un sistema es una representación gráfica de las funciones que lleva a cabo cada componente y el flujo de señales. Tales diagramas presentan las relaciones existentes entre los diversos componentes. A diferencia de una representación matemática puramente abstracta, un diagrama de bloques tiene la ventaja de indicar de forma más realista el flujo de las señales del sistema real. Todas las variables del sistema se enlazan unas con otras mediante bloques funcionales. El bloque funcional o simplemente bloque es un símbolo para representar la operación matemática que sobre la señal de entrada hace el bloque para producir la salida. En la Fig. 1.6 se presenta un elemento del diagrama de bloques. La punta de flecha que señala el bloque indica la entrada, y la punta de flecha que se aleja del bloque representa la salida. Tales flechas se conocen como señales [12].

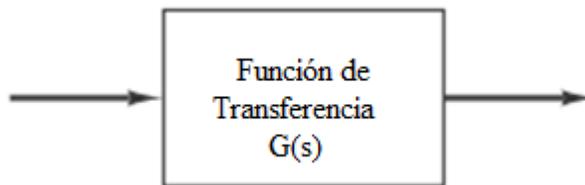


Fig. 1.6. Representación de un elemento de un diagrama de bloques.

Una señal de transferencia se utiliza para caracterizar las relaciones de entrada-salida de componentes o de sistemas que se describen mediante ecuaciones diferenciales lineales invariantes en el tiempo [12].

Una señal de un sistema se puede sumar o restar a otra mediante el elemento de punto de suma (ver, Fig. 1.7), el cual es un círculo con el símbolo una cruz que indica una operación de suma. El signo más o el signo menos en cada punta de flecha indica si la señal se debe sumar o restar. Es importante que las cantidades que se sumen o resten tengan las mismas dimensiones y las mismas unidades [12].

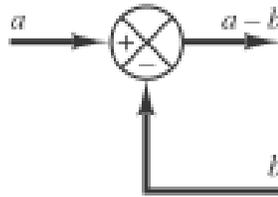


Fig. 1.7. Representación de un punto de suma.

✓ **Clasificación de sistemas de control**

Los sistemas de control se diseñan para realizar tareas deseadas mediante una señal de entrada, sin embargo, se pueden diseñar para diferentes tipos de tareas, de modo de obtener una relación entre una señal de entrada y una señal de salida o simplemente realizar la tarea fijada sin importar la salida siempre y cuando no se presenten perturbaciones en el sistema. A continuación, se definen básicamente los tipos de sistemas de control:

- **Sistemas de control Retroalimentados:**

Es un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control [12].

Como ejemplo se tiene un sistema de control de temperatura de una habitación. Se compara la temperatura real con la temperatura de referencia, es decir, la temperatura deseada. Entonces el termostato activa o desactiva el equipo de enfriamiento o calefacción para mantener la habitación a la temperatura que se programó [12].

- **Sistemas de control de lazo cerrado:**

En un sistema de control en lazo cerrado (ver, Fig. 1.8), se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado [12].

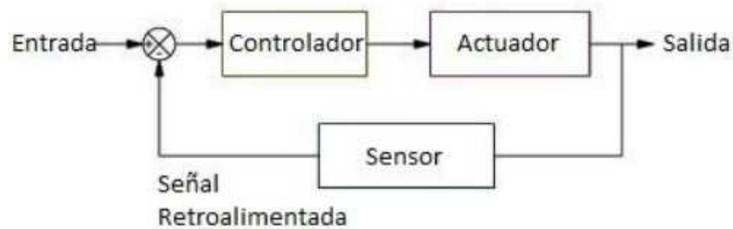


Fig. 1.8. Esquema de un sistema de control cerrado.

- Sistemas de control de lazo abierto:

Son aquellos sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control (ver, Fig. 1.12). Este no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada [12].

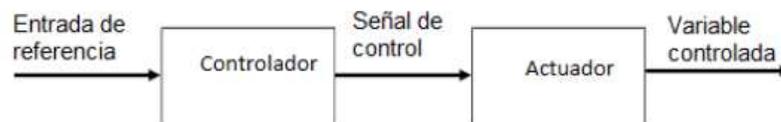


Fig. 1.9. Esquema de un sistema de control de lazo abierto.

Una señal de entrada que se corresponderá con la temperatura deseada o de consigna para cada uno de los bloques de climatización anteriores [12]:

- Una señal de salida o variable controlada, que será la temperatura real a la que se encuentra el sistema de climatización a controlar, en un determinado momento [12].
- Un sensor encargado de medir la temperatura a la que se encuentra el sistema a controlar en un determinado momento para enviar la señal realimentada al controlador [12].
- Un controlador que se encargará de tomar la decisión adecuada para el correcto funcionamiento del sistema. La decisión variará en función de la señal de error que reciba el controlador. Esta señal de error será la diferencia entre la señal de entrada y la de salida [12].

- Un actuador que se encargará de ejecutar la orden del controlador. En este caso, se corresponderá con los servomotores asociados a las válvulas mezcladoras de cada uno de los bloques de climatización [12].

### 1.5.3. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTROLADORES INDUSTRIALES

Los controladores industriales se clasifican, de acuerdo con sus acciones de control, como:

#### 1) De dos posiciones o controladores ON/OFF:

En un sistema de control de dos posiciones, el elemento de actuación sólo tiene dos posiciones fijas, que, en muchos casos, son simplemente encendido y apagado [12].

En la Fig. 1.10, se observa un gráfico de rendimiento para un sistema ON/OFF a lo largo del tiempo, como se presenta tiene dos representaciones de señales cuadrada y sinusoidal [12].

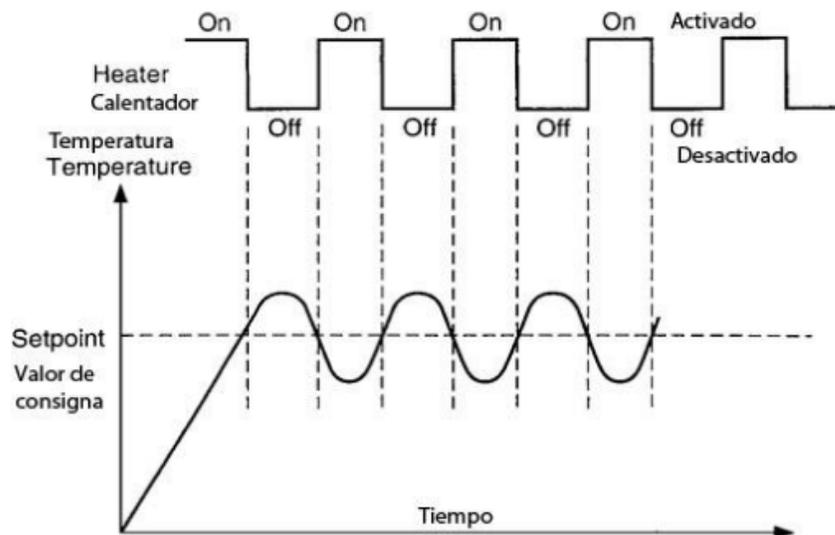


Fig. 1.10. Gráfica de rendimiento de un sistema de control ON/OFF a lo largo del tiempo.

#### 2) Controladores proporcionales:

En este sistema la salida del controlador es proporcional a la señal de error, es decir, entre la temperatura medida en el bloque y la temperatura de consigna. Por lo tanto, la respuesta de este control será instantánea ante cualquier variación del error. Esto se puede representar matemáticamente según la Ec. 1.1 [12].

$$Y_{(t)} = K_p * e_{(t)} \quad (1.1)$$

donde:  $Y_{(t)}$  es la señal de salida,

$K_p$  es una constante de proporcionalidad, y

$e_{(t)}$  es la señal de error.

En donde se puede apreciar que la señal de salida es el resultado del producto entre la señal de error y la constante proporcional  $K_p$  [12].

### 3) Controladores integrales:

En este sistema la salida del controlador es proporcional al error acumulado a lo largo del tiempo. El objetivo del control integral será el de reducir y eliminar el pequeño error después del control proporcional. Para ello, el control integral seguirá la Ec. 1.2 [12].

$$Y_{(t)} = K_i * \int_0^t e_{(t)} dt \quad (1.2)$$

### 4) Controladores proporcionales-integrales:

La acción de control de un controlador proporcional-integral (PI) se define mediante la Ec. 1.3 [12].

$$U_{(t)} = K_p e_{(t)} + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e_{(t)} dt \quad (1.3)$$

### 5) Controladores proporcionales-derivativos:

La acción de control de un controlador proporcional-derivativa (PD) se define mediante la Ec. 1.4 [12].

$$U_{(t)} = K_p e_{(t)} + K_p T_d \frac{de_{(t)}}{dt} \quad (1.4)$$

6) Controladores proporcionales-integrales-derivativos:

La combinación de la acción de control proporcional, la acción de control integral y la acción de control derivativa se denomina acción de control proporcional-integral-derivativa. Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un controlador con esta acción combinada está dada por la Ec. 1.5 [12].

$$U_{(t)} = K_p e_{(t)} + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e_{(t)} dt + K_p T_d \frac{de_{(t)}}{dt} \quad (1.5)$$

donde:  $K_p$  es la ganancia proporcional,

$T_i$  es el tiempo integral y

$T_d$  es el tiempo derivativo.

El diagrama de bloques de un controlador proporcional-integral-derivativo se presenta en la Fig. 1.11:

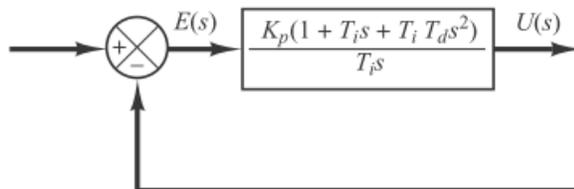


Fig. 1.11. Diagrama de bloques de un controlador

#### 1.5.4. PLATAFORMAS ELECTRÓNICAS

Existe una variedad de plataformas electrónicas que se utilizan como el cerebro o el controlador de un sistema de control, que mediante un software libre se pueden programar y automatizar diferentes procesos, entre las plataformas más utilizadas en la actualidad se tienen:

✓ **Microcontroladores.**

Para que un sistema cumpla con las tareas programadas es necesario un equipo físico que pueda procesar las señales de entrada y salida y que, además, las transforme según el diseño de diagrama de bloques. Para lo cual se utilizan los microcontroladores, estos son circuitos integrados programables, capaces de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria [13].

La función principal de un microcontrolador es de controlar a los otros elementos a través de los interfaces de entrada y salida, para ello, será necesario programarles. Para programarlos, actualmente existen lenguajes de nivel alto, capaz de ser ejecutada sin problema. Sin embargo, en la mayoría de los casos será necesario un hardware adicional que cargue el programa en los microcontroladores, este hardware es conocido como “programador de microcontroladores”, el cual puede ser una computadora externa para cargar el programa [13].

Para el procesamiento de las señales, los microcontroladores están instalados en un circuito integrado, o placa de circuito impreso (Printed Circuit Board PCB), en dicho circuito integrado contiene las principales unidades funcionales de un ordenador, es decir, una unidad central de procesamiento, unidades de memoria, entradas programables y periféricos de salida [13].

Algunos de los elementos que generalmente se pueden encontrar en las tarjetas de microcontroladores son:

- Puertos de entrada y salida (E/S). Están constituidos por puertos que recogen y generan señales digitales a otros circuitos, formando las interfaces entre un microcontrolador y el mundo exterior. Cualquier sensor o actuador que se

vaya a comunicar con el microcontrolador lo hará a través de dichos puertos [14].

- CPU. Es la unidad central de procesamiento que se encarga de realizar todos los cálculos en base a la programación y de interactuar con circuitos externos [14].
- La unidad de memoria. La memoria debe ser capaz de almacenar tanto al programa que está siendo ejecutado, como espacio para almacenar la información generada por el mismo. La capacidad de esta unidad de memoria es limitada, por lo que debe ser gestionada correctamente [14].
- Puerto de conexión. Posee normalmente dos líneas de comunicación serial, una para transmitir información desde el microcontrolador y otra fuente para que se reciba la información [14].

#### ✓ **Empresas desarrolladoras**

En el mercado existe una gran variedad de empresas desarrolladoras de tarjetas con microcontroladores, con su propio software de programación. A continuación, se presentan las principales desarrolladoras de tarjetas programables:

- Raspberry Pi. Una Raspberry Pi (ver, Fig. 1.12), es un ordenador de bajo costo, cuyo tamaño es ligeramente superior al de una tarjeta de crédito, que se puede conectar a un monitor y emplear teclado y ratón, es capaz de hacer lo mismo que cualquier ordenador de escritorio, como: navegar por Internet o visualizar vídeos. Además, es un dispositivo que ofrece a las personas que exploren la informática y que aprendan lenguajes de programación como Python. Por último, es un dispositivo con la habilidad de interactuar con el mundo externo, ideal para multitud de proyectos de distinta índole, por ejemplo, un sistema domótico de control de la temperatura [15].



Fig. 1.12. Raspberry Pi 4 Model B.

- Arduino. Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra (ver, Fig. 1.13). Estos permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla (principalmente con cables dupont). Las PCBs superficies planas fabricadas de un material no conductor, la cual consta de distintas capas de material conductor. Una PCB es la forma más compacta y estable de construir un circuito electrónico. Por lo tanto, la placa Arduino no es más que una PCB que implementa un determinado diseño de circuitería interna. De esta forma el usuario final no se debe preocupar por las conexiones eléctricas que necesita el microcontrolador para funcionar, y puede empezar directamente a desarrollar las diferentes aplicaciones electrónicas que necesite [16].



Fig. 1.13. Arduino UNO R3.

- BeagleBoard. Es una placa computadora de hardware libre de bajo consumo producida por Texas Instruments en asociación con DigiKey y Newark element. BeagleBoard (ver, Fig. 1.14), también fue diseñada con el desarrollo de software de código abierto en mente y como una forma de demostrar las capacidades estándar de Texas Instruments. Es una plataforma que corre bajo un sistema operativo Linux y dispone de diversas entradas y salidas de propósito general las cuales cuentan con diversas funciones entre las cuales se encuentran (I/O digitales, entradas analógicas, salidas con PWM, soporte para I2 & SPI). Además, dispone de un puerto ethernet para la comunicación en red con otros dispositivos y un puerto USB 2.0 para la comunicación con otros dispositivos.



Fig. 1.14. BeagleBoard rev.B.

- Minnowboard MAX. Esta es una placa desarrollada por Intel, destinada al montaje de mini-PCs con sistemas Linux (ver, Fig. 1.15), para desarrolladores, investigadores de seguridad, entre otros. Esta placa posee un microcontrolador más potente, comparable a una computadora de pequeña capacidad, incluso pueden instalar 1, 2 o 4 Gb de RAM y disponen de 8 Mb de flash SPI. Ofrece conectividad Micro SD, Micro-HDMI, Gigabit Ethernet, doble puerto USB (2.0 y 3.0) así como un SATA 3Gb/sec.

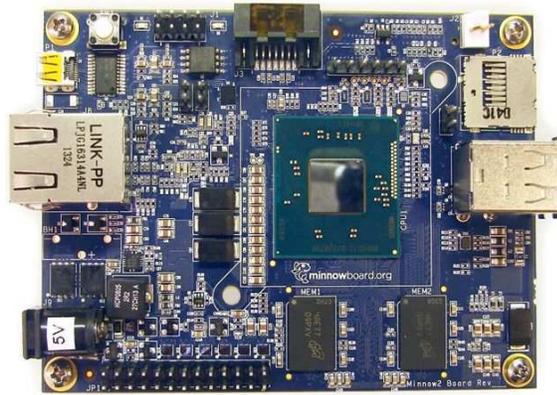


Fig. 1.15. Intel Minnowboard MAX.

## 2. PROPUESTA DE DISEÑO

En el este capítulo se presenta una propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura MIG/MAG para recipientes a presión, en la Fig. 2.1 se presenta el mecanismo propuesto para el sistema que se propone diseñar.

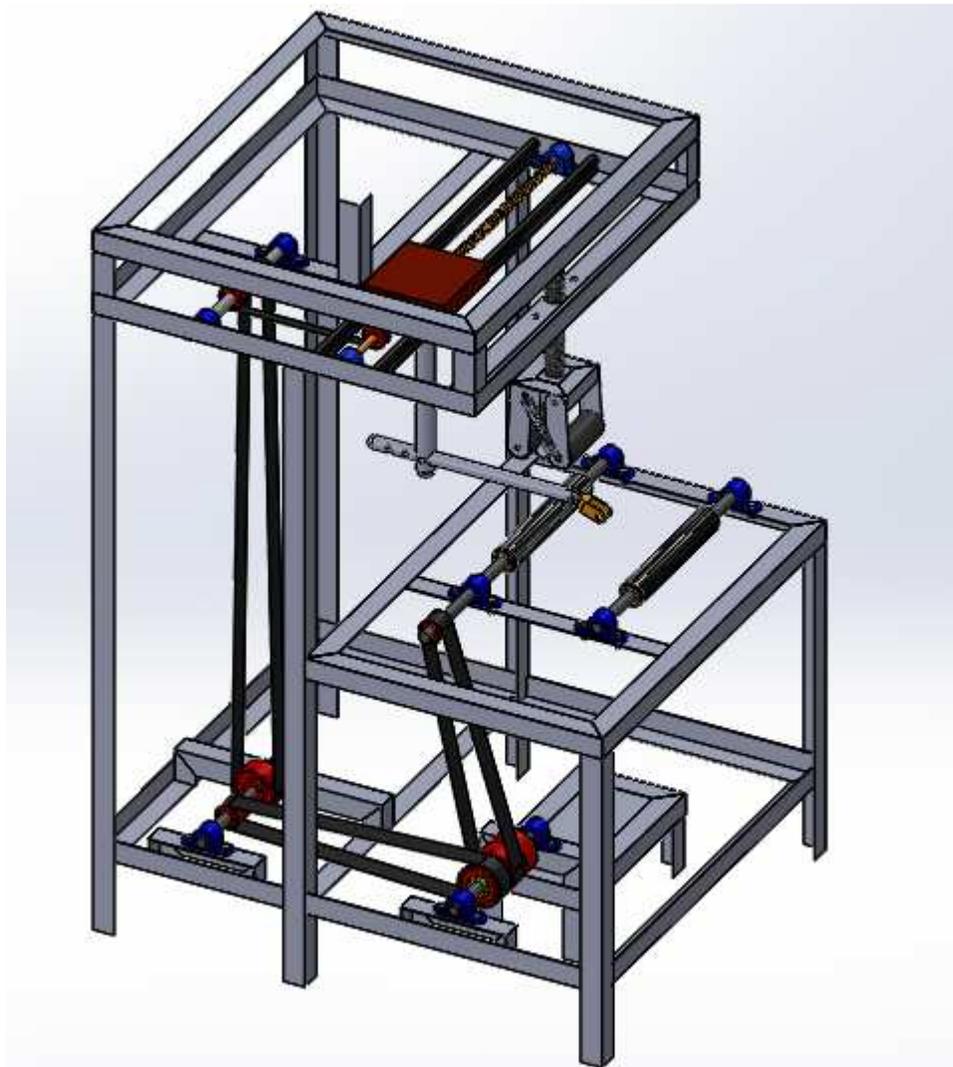


Fig. 2.1. Mecanismo propuesto para la máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura MIG/MAG para recipientes a presión.

## 2.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

Los parámetros de funcionamiento son los esenciales para el diseño eficiente de la máquina, serán la referencia para la determinación de las cargas que experimentará la máquina durante su servicio.

### 2.1.1. ESPESOR DE LA LÁMINA DE LOS CILINDROS

El espesor de la lámina de los cilindros está dado por el diámetro del cilindro y la presión de diseño [17]. Así, los cilindros con capacidades menor o igual que 11.3 kg (25 lb), deben tener un diámetro externo máximo de  $31.0 \pm 1$  cm, mientras que los cilindros con capacidades de mayor que 11.3 kg (25 lb), deben tener un diámetro externo máximo de  $38.0 \pm 1$  cm. Por lo que, para efecto del diseño se seleccionarán dos diámetros: 32 y 39 cm. En donde la presión de diseño será de 1,655 kPa (240 psi) [17].

Cualquier cilindro con diámetro externo mayor que 152.4 mm (6 pulg) debe tener un espesor de pared mayor o igual a 1.98 mm (0.078 pulg), y en cualquier caso, debe ser tal que el esfuerzo en la pared a la presión de prueba mínima no exceda el esfuerzo determinado por la Ec. 2.1.

$$S = \frac{[2P (1.3 D^2 + 0.4d^2)]}{[(D^2 - d^2)]} \quad (2.1)$$

donde: S es el esfuerzo en la pared en kPa,

P es la presión de diseño en kPa,

D es el diámetro externo en cm, y

d es el diámetro interno en cm.

Si se utiliza un acero de bajo carbono para su fabricación, el espesor de cada casquete se debe determinar utilizando un esfuerzo en la pared máximo de 1,655 kPa (240 psi) [17].

Así, determinando para diferentes diámetros resulta:

➤ Para el diámetro de 32 cm:

Analizando para una lámina de acero SAE 1020 CD de 3/16 pulg de espesor, el diámetro interno queda:

$$d = 32 - 2(0.48) = 31.04 \text{ cm}$$

Así, sustituyendo en la Ec. 2.1, se obtiene:

$$S = \frac{[2 * 1655 (1.3 * 32^2 + 0.4 * 31.04^2)]}{[1 (32^2 - 31.04^2)]}$$

$$S = 93.89 \text{ MPa.}$$

En la Tabla A.1 (ver, Anexos A) se presenta las resistencias mínimas a la tracción y a la fluencia de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD), en la cual se tiene que el esfuerzo de fluencia del acero SAE 1020 CD es de 390 MPa [17].

El factor de seguridad estaría dado por:

$$n = \frac{390}{93.89} = 4.15$$

➤ Para el diámetro de 39 cm:

Analizando para una lámina de acero SAE 1020 CD de 1/4 pulg, el diámetro interno queda:

$$d = 39 - 2(0.64) = 37.72 \text{ cm}$$

Sustituyendo en la Ec. 2.1, se obtiene:

$$S = \frac{[2 * 1655 (1.3 * 39^2 + 0.4 * 37.72^2)]}{[1 (39^2 - 37.72^2)]}$$

$$S = 85.83 \text{ MPa.}$$

De la Tabla A.1 se tiene que el esfuerzo de fluencia del acero SAE 1020 CD es de 390 MPa, por lo tanto:

El factor de seguridad estaría dado por:

$$n = \frac{390}{85.83} = 4.54$$

### 2.1.2. VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN

Para fijar esta variable, inicialmente se debe estimar la entrada mínima de energía requerida,  $H_{\min}$  en kJ/pulg. Así, para soldar la pletina de prueba sin problemas por faltas de fusión ni regiones de alta dureza, se utiliza la Ec. 2.2 la cual determinar la entrada de energía mínima requerida:

$$H_{\min} = 30t^2 + 15t \quad (2.2)$$

donde:  $t$  es el espesor de la lámina a soldar.

Para determinar la velocidad de deposición en pulg/min se realiza mediante la Ec. 2.3:

$$H = \frac{60 * E * I}{1000 * S} \quad (2.3)$$

donde:  $H$  es la entrada de energía en kJ/pulg,

$E$  es el voltaje del arco eléctrico en V,

$I$  es la corriente en A, y

$S$  es la velocidad de deposición en pulg/min.

Así, determinando para diferentes cilindros resulta:

- Para los cilindros de 32 cm de diámetro con una lámina de acero SAE 1020 CD de 3/16 pulg de espesor:

Sustituyendo en la Ec. 2.2, se obtiene:

$$H_{\min} = 30(0.19)^2 + 15(0.19)$$

$$H_{\min} = 3.8672 \text{ kJ/pulg.}$$

Luego, sustituyendo en la Ec. 2.3, se obtiene la velocidad de deposición, se obtienes:

$$S = \frac{60 * E * I}{1000 * H}$$

$$S = \frac{60 * 19 * 150}{1000 * 3.8672}$$

$$s = 44.2180 \text{ pulg/min.}$$

- Para los cilindros de 39 cm de diámetro con una lámina de acero SAE 1020 CD de 3/16 pulg de espesor:

Sustituyendo en la Ec. 2.2, se obtiene:

$$H_{\min} = 30(0.25)^2 + 15(0.25)$$

$$H_{\min} = 5.6250 \text{ kJ/pulg.}$$

Luego, sustituyendo en la Ec. 2.3 se obtiene la velocidad de deposición, se obtiene:

$$S = \frac{60 * E * I}{1000 * H}$$

$$S = \frac{60 * 19 * 150}{1000 * 5.6250}$$

$$s = 30.4000 \text{ pulg/min.}$$

### 2.1.3. CORRIENTE DE SOLDADURA

La corriente de soldadura para este trabajo se eligió de 150 A, ya que es un valor de corriente que la mayoría de los equipos de soldadura MIG/MAG poseen en su intervalo de operaciones, además es un valor promedio de intensidad para los espesores de material base y del material de aporte.

### 2.1.4. DIÁMETRO DEL ALAMBRE

El diámetro del alambre se ha escogido del Manual del Soldador de INFRASAL S.A. de C.V. en donde se seleccionó a partir del espesor del metal base, el tipo de gas y el amperaje de trabajo tal como se presenta en la Tabla 2.1, así se escogió un diámetro de 0.035 pulg, de la sección para acero dulce por estar en el intervalo del amperaje escogido. Por lo que se seleccionó el alambre ER 70S-6 de 0.9 mm (0.035 pulg).

Tabla 2.1. Recomendaciones de parámetros para soldadura MIG/MAG [18].

Metal Base	Gas inerte	Diámetro del alambre, pulg	DC y PI, A
Acero dulce	CO <sub>2</sub> , Argón - CO <sub>2</sub>	0.030	50 – 150
		0.035	60 – 180
		0.045	90 – 200
		1/16	300 - 450
Acero de baja Aleación	Argón – Oxígeno Argón - CO <sub>2</sub>	0.030	50 – 150
		0.035	75 – 230
		0.045	100 – 350
		1/16	300 - 450
Acero Inoxidable	Argón – Oxígeno Helio - Argón - CO <sub>2</sub>	0.030	75 – 150
		0.035	100 – 160
		0.045	140 – 310
		1/16	280 - 350

### **2.1.5. TENSIÓN DEL ARCO**

El electrodo avanza hasta tocar el metal en el cual se produce un cortocircuito que funde la punta de dicho electrodo, siendo la velocidad de fusión mayor que la de alimentación del alambre, así se produce una estricción hasta que se corta dicho alambre. Al continuar la alimentación del alambre se produce otro cortocircuito, el cual se repite sucesivamente a alta velocidad. El proceso se recomienda para soldaduras de espesores delgados, menores de 1/4 pulg y corrientes menores de 250 A. Finalmente, se selecciona 19 V en cortocircuito, debido a que es un voltaje de funcionamiento de muchos equipos de soldadura MIG/MAG.

### **2.1.6. LONGITUD LIBRE DEL ALAMBRE**

Esta se selecciona en función al amperaje con el que se trabaje. En este caso, dado que se ha seleccionado un amperaje de trabajo de 150 A, se escoge un intervalo de corriente media, ya que está en el límite inferior del intervalo. Por lo que la longitud libre del alambre entre la pieza de trabajo y la boquilla de la máquina será de 12 mm, tal como se presenta en la Fig. 2.2.

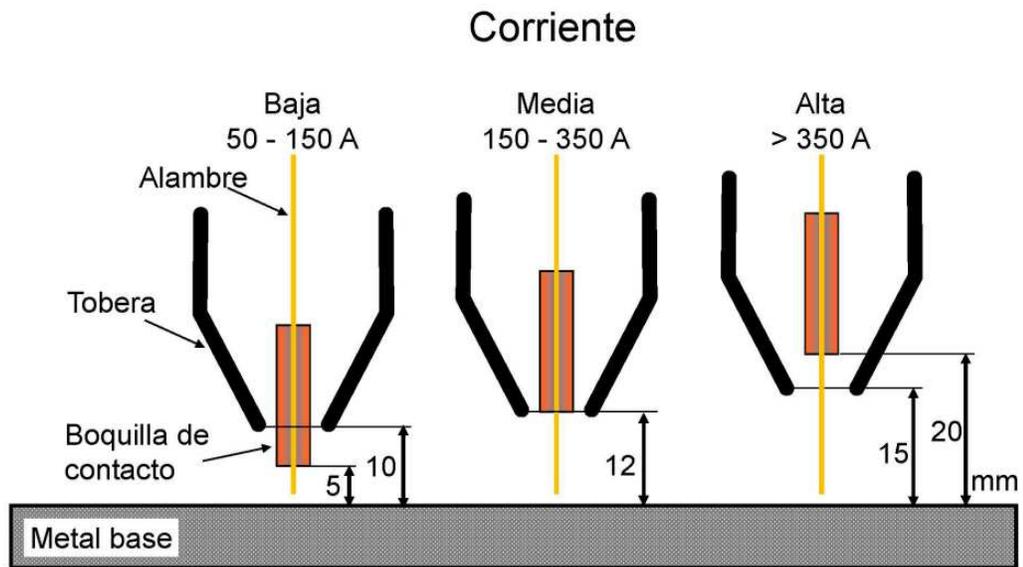


Fig. 2.2. Recomendaciones de longitud libre del alambre en función del amperaje.

## 2.2. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS CRÍTICOS

Se considera como elemento crítico aquel que su falla ocasiona que el sistema deje de funcionar y se vuelva inutilizable, en otras palabras, son los elementos fundamentales del sistema. En la Fig. 2.3 se enumeran los elementos considerados como fundamentales para el correcto funcionamiento del sistema.

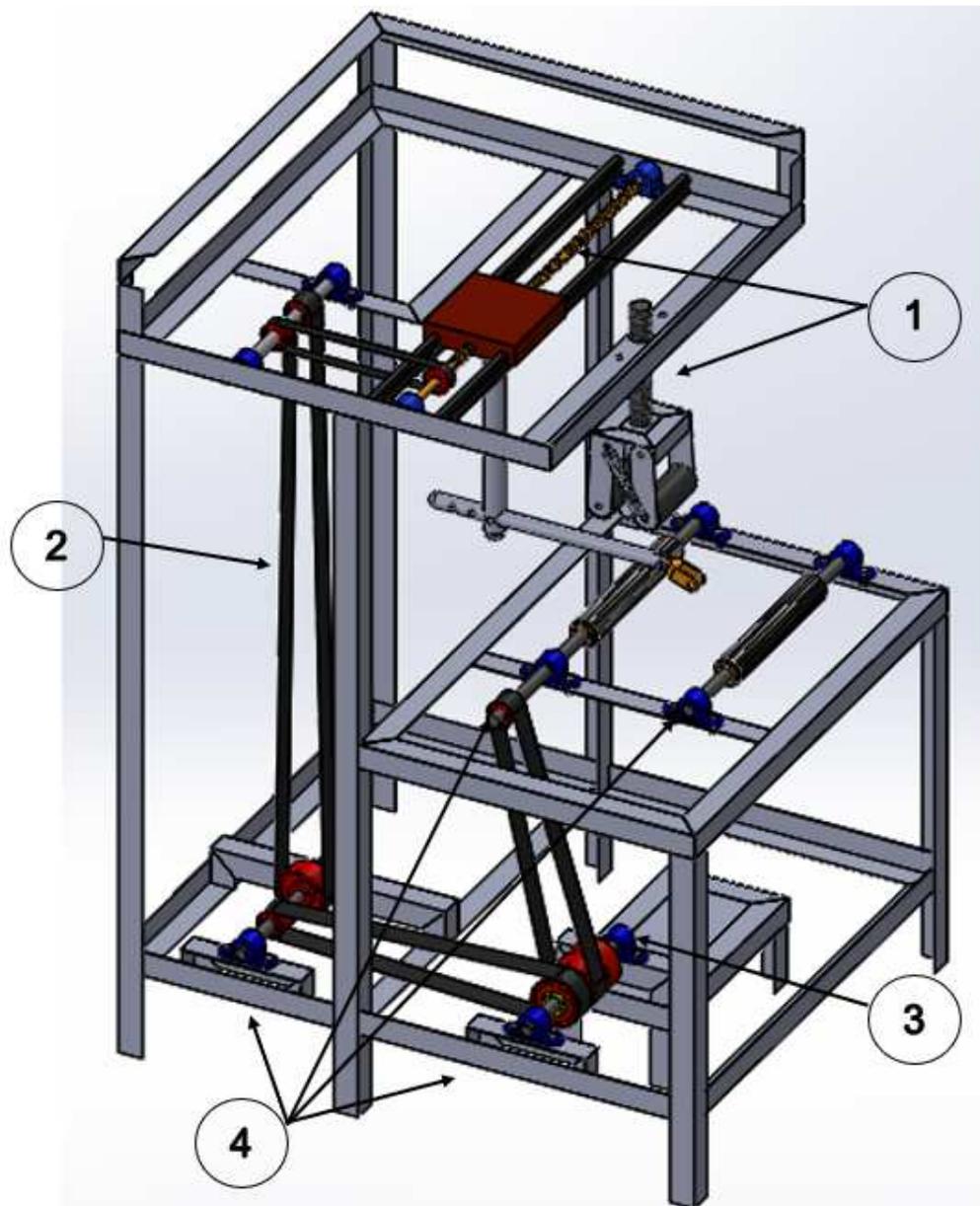


Fig. 2.3. Componentes fundamentales de la máquina a diseñar: 1) Tornillos de potencia; 2) sistema de bandas; 3) ubicación del motor, y 4) ejes.

### 2.1.1. DISEÑO DE TORNILLOS DE POTENCIA

En la Fig. 2.4 se presenta el sistema de soporte aéreo, el cual se utiliza para asegurar la posición del cilindro sin costura, mientras se efectúa la soldadura, así en la Fig. 2.5 se tiene el sistema encargado de realizar el

movimiento axial que permitirá realizar la soldadura longitudinal en los cilindros clase 3 [17], para ambos sistemas se utilizarán tornillos de potencia para realizar los movimientos vertical y axial.

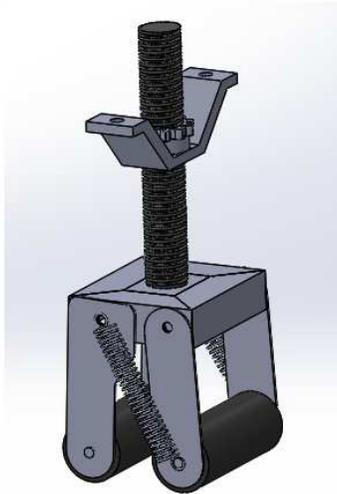


Fig. 2.4 Tornillo de potencia soporte aéreo.

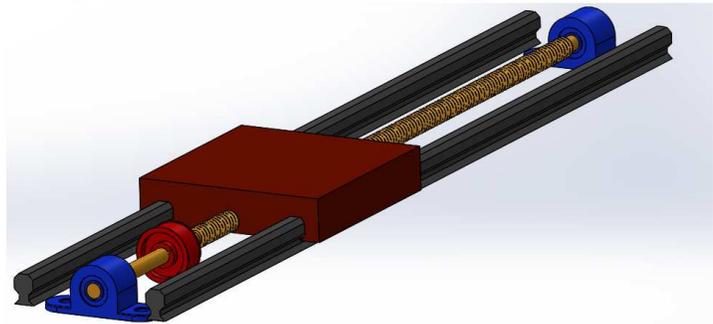


Fig. 2.5. Tornillo de potencia para movimiento axial.

Los tornillos de potencia, son aquellos destinados a la transmisión de potencia y movimiento, que generalmente se utilizan para convertir un movimiento angular o de giro, en un movimiento de traslación o lineal, y acompañados además de una transmisión de carga [19].

Dado lo anterior, es muy usual el empleo de mecanismos constituidos por tornillos de potencia para la elevación o traslado de cargas, debido a que permiten desarrollar grandes fuerzas a lo largo de su eje, en la Fig. 2.6 se presenta los diferentes tipos de roscas más utilizados [19].

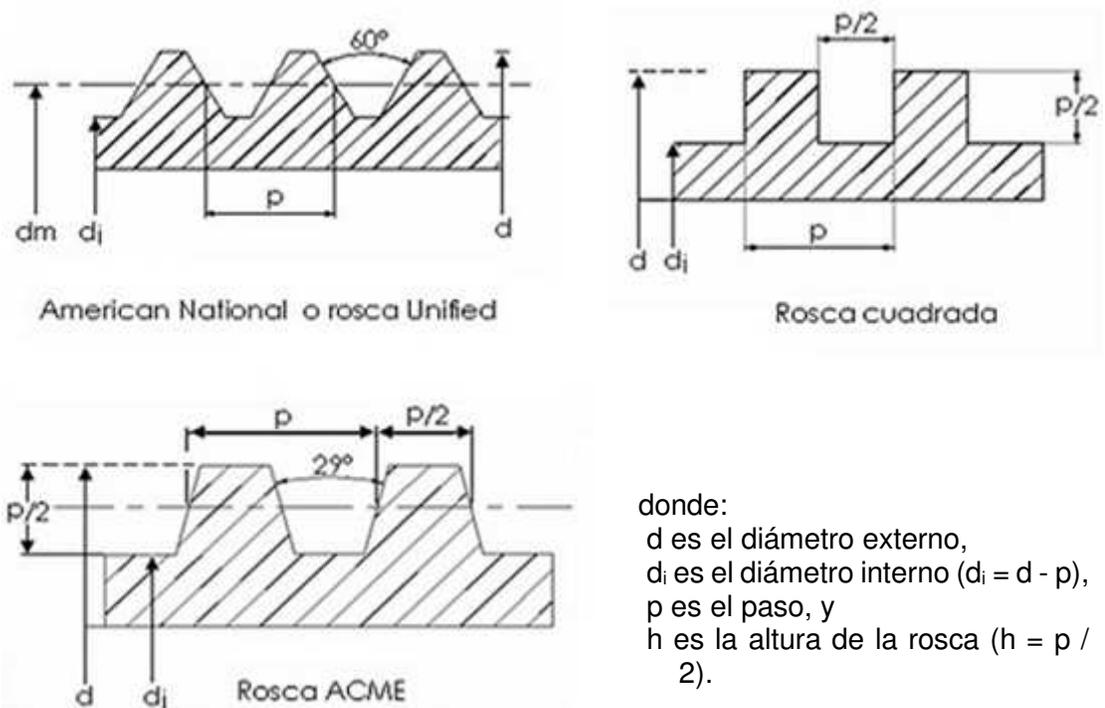


Fig. 2.6. Tipos de roscas utilizadas para los tornillos de potencia [19].

A continuación, se procede al cálculo de las dimensiones del tornillo de potencia longitudinal encargado de mover el carrito con el brazo soldador y posteriormente se realizarán los cálculos del tornillo de potencia vertical, el cual es utilizado para sujetar el cilindro durante la soldadura:

- ✓ Cálculo de las dimensiones de tornillo de potencia longitudinal.

Para dimensionar el tornillo se tomó en consideración una longitud roscada de 66.5 cm, un diámetro de 1 pulg, utilizando rosca ACME y de la Tabla A.3 para rosca unificada con paso normal corresponde un paso de 1/5 pulg. Así, a continuación, se detalla el proceso de dimensionamiento:

- Diámetro medio:

El diámetro medio se calcula mediante la Ec. 2.4:

$$d_i = D - p/2 \quad (2.4)$$

donde:  $d_i$  es el diámetro interno,

$D$  es el diámetro externo, y

p es el paso.

Sustituyendo en la Ec. 2.4, se obtiene:

$$d_i = 1 - \frac{1/5}{2} = 0.9 \text{ pulg.}$$

- Altura de la rosca:

La altura de la rosca (h) se calcula mediante la Ec. 2.5:

$$h = \frac{p}{2} \quad (2.5)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.5, se obtiene:

$$h = \frac{1/5}{2}$$
$$h = \frac{1}{10} = 0.1 \text{ pulg.}$$

- Material:

Como el tornillo estará en dirección longitudinal se debe analizar los esfuerzos que se encuentran sobre el eje, por lo tanto, al considerar un peso en conjunto del carrito y brazo de 10 lb, tal como se presenta en la Fig. 2.7:

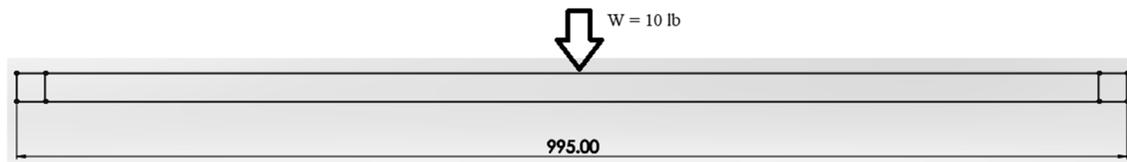


Fig. 2.7. Diagrama del eje del tornillo de potencia.

Realizando una sumatoria de fuerzas en Y se tiene:

$$+\uparrow \sum F_Y = 0 \quad R_A = R_B = \frac{10}{2} = 5 \text{ lb.}$$

Con las reacciones obtenidas se procede a realizar el diagrama de cortante representado en la Fig. 2.8 y posteriormente el diagrama de momento en la Fig. 2.9.

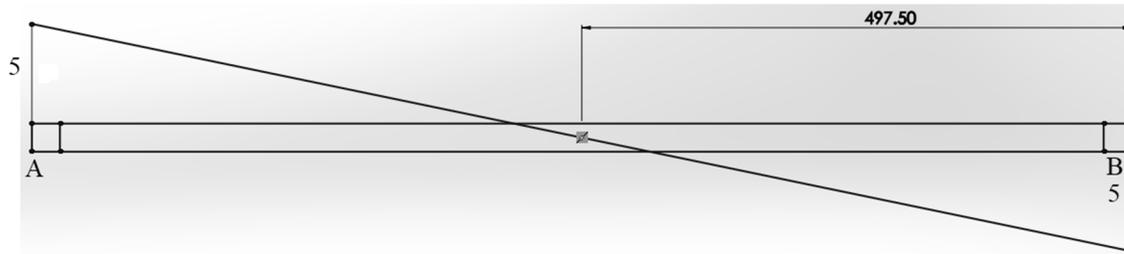


Fig. 2.8. Diagrama cortante del tornillo de potencia.

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{1}{2} * 5 * 19.6 = 48.96 \text{ lb}\cdot\text{pulg}$$

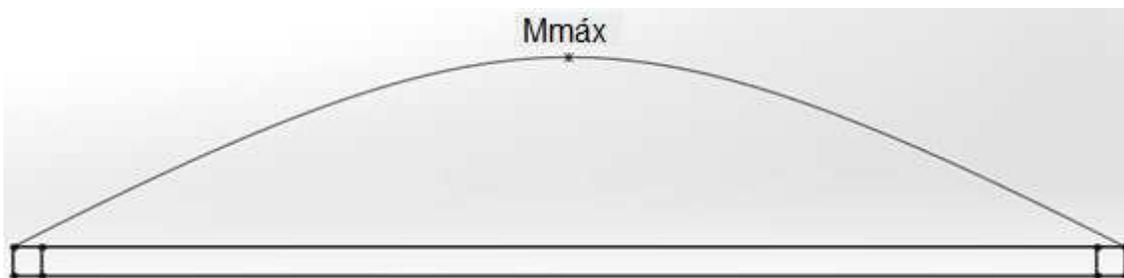


Fig. 2.9. Diagrama de momento flector del tornillo de potencia.

Para determinar el módulo de sección del eje se utiliza la Ec. 2.6, así:

$$S = \frac{\pi d^3}{32} \quad (2.6)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.6, se obtiene:

$$S = \frac{\pi(1)^3}{32} = 0.098 \text{ pulg}^3$$

El esfuerzo máximo permisible se determina mediante la Ec. 2.7:

$$\sigma = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S} \quad (2.7)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.7, se obtiene:

$$\sigma = \frac{48.96}{0.098} = 498 \text{ psi}$$

Si:  $\sigma = S_y$ , de Tabla A.1 el material a seleccionar es un acero SAE 1006 HR.

✓ Cálculo de las dimensiones de tornillo de potencia vertical

Para dimensionar el tornillo se tomó en consideración una longitud roscada de 25 cm, un diámetro de  $\frac{3}{4}$  pulg, utilizando rosca ACME y de la Tabla A.3 para Rosca Unificada con paso normal se seleccionó un paso de 1/6 pulg, Así, a continuación, se detalla el proceso de dimensionamiento:

- Diámetro interno:

Sustituyendo en la Ec. 2.4, se obtiene:

$$di = D - p/2$$

$$di = \frac{3}{4} - \frac{1}{2 * 6} = \frac{2}{3} \text{ plg}$$

- Altura de la rosca:

Sustituyendo en la Ec. 2.5, se obtiene:

$$h = \frac{p}{2}$$

$$h = \frac{1/6}{2} = \frac{1}{12} \text{ plg}$$

- Material:

Para determinar el material del tornillo representado en la Fig. 2.10 se evalúan los esfuerzos que se producen en el diente, asumiendo un peso de 10 lb el conjunto soporte y rodillos se tiene:

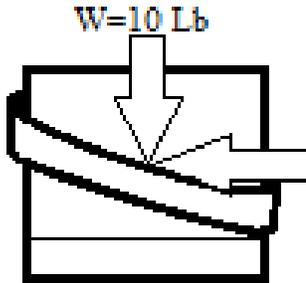


Fig. 2.10. Diagrama de cuerpo libre del diente del tornillo.

Cálculo del esfuerzo axial, para un tornillo de potencia el esfuerzo axial se determina con la Ec. 2.8, como sigue [20]:

$$\sigma = \frac{6 w}{\pi d_m P} \quad (2.8)$$

$$\sigma = \frac{6(10)}{\pi * \frac{2}{3} * \frac{1}{6}} = 172 psi$$

Cálculo del esfuerzo cortante: para un tornillo de potencia el esfuerzo cortante se determina con la Ec. 2.9, como sigue [20].

$$\tau = \frac{2w}{\pi d_m P} \quad (2.9)$$

$$\tau = \frac{2(10)}{\pi * \frac{2}{3} * \frac{1}{6}} = 57.3 psi$$

Cálculos de esfuerzos  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$ :

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad (2.10)$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{172}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{172}{2}\right)^2 + 57.3^2}$$

$$\sigma_1 = 189.34 \text{ psi}$$

$$\sigma_2 = -17.34 \text{ psi.}$$

Aplicando la teoría del esfuerzo cortante máximo, se utiliza la Ec. 2.11:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{S_y}{2n} \quad (2.11)$$

Con  $n = 1$ .

$$\frac{189.34 - (-17.34)}{2} = \frac{S_y}{2}$$

$$S_y = 206.68 \text{ psi}$$

Por lo tanto, de la Tabla A.1 el material a seleccionado es un acero SAE 1006 HR.

### 2.1.2. SELECCIÓN DE BANDAS

El sistema de bandas que se presenta en la Fig. 2.11 es el encargado de llevar el movimiento del motor donde se requiera, utiliza una relación de movimiento de 1:2, incrementando así la velocidad de los ejes, se utiliza un sistema de 3 poleas en el eje del motor, la polea central está conectada al eje y las poleas externas poseen rodamientos, para deslizar y no generar movimiento cuando se activa la función contraria que se necesite, si la banda 1 indicada en la Fig. 2.12, esta conecta con la polea central del eje, girará el cilindro y se efectuará el cordón de soldadura de forma circular y las bandas 2, 3 y 4 no tendrán movimiento; al cambiar la banda 2 a la polea central, el movimiento será transmitido hasta la banda 4 donde está conectado el tornillo de potencia de

movimiento axial, de esta forma se logra un cordón de soldadura a lo largo del cilindro, se utiliza una relación 1:2 en las bandas 1, 2 y 3 y una relación 1:1 en la banda 4, de esta forma se obtienen las velocidades necesarias para cada trabajo.



Fig. 2.11. Distribución del sistema de bandas. Colocar números e indicar los nombres de las mandas.

La banda plana es una de las utilizadas por su eficiencia de 90 a 95% y debido a que serán cambiadas de posición dependiendo de la aplicación que esté efectuando el equipo; el sistema de bandas a implementar es el que se presenta en la Fig. 2.12.

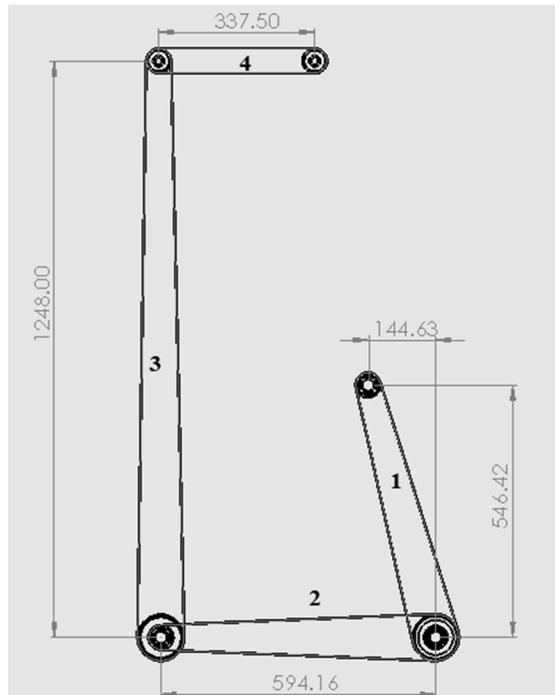


Fig. 2.12. Sistema de bandas planas.

A continuación, se presenta el análisis para cada una de las bandas considerando un diámetro de polea de 10 cm (3.937 pulg) y una relación  $n = 2$ , 1.2 rpm/motor para banda 1 y 4.75 rpm/motor banda 2, material de la banda de cuero, así de Tabla A.2 se tiene:

$$\gamma = 0.035 \text{ lb/pulg}^3$$

$$\mu = 0.4$$

$$S = 350 \text{ psi.}$$

✓ Diseño banda 1

En la Fig. 2.13 se presenta el diagrama de cuerpo libre de la banda 1, indicando sus dimensiones y distribución de fuerzas.

- Distancia entre centros:

$$C = \sqrt{14.463^2 + 54.642^2} = 56.523 \text{ cm}$$

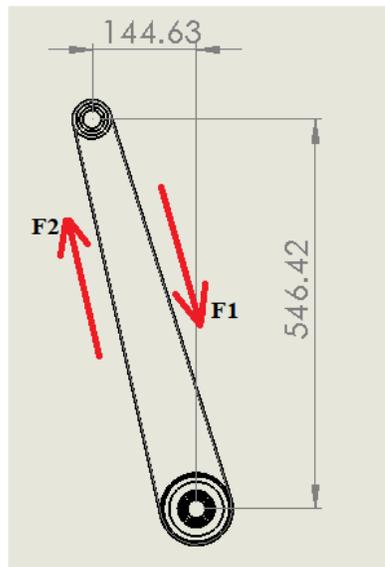


Fig. 2.13. Diagrama de cuerpo libre de la banda 1.

- Fuerza F1: La fuerza F1 es el lado tenso de la banda y relaciona el esfuerzo admisible y al área transversal de la banda, por lo tanto, se tiene la Ec. 2.12.

$$F_1 = SA \quad (2.12)$$

donde: F1 es la fuerza del lado tenso de la banda,

S es el esfuerzo admisible del material, 350 psi para el cuero, y

A es el área de la sección transversal de la banda.

Sustituyendo en la Ec. 2.12, se obtiene:

$$F_1 = 350 A.$$

- Factor K: este es un parámetro de diseño cinemático que se define por la Ec. 2.13 donde se relaciona el peso específico de la banda, el área transversal de la banda y la energía cinética que experimenta la banda. Expresa por la Ec. 2.13, así:

$$K = \frac{\gamma A v^2}{g} \quad (2.13)$$

donde: A es el área transversal de la banda,  
v es la velocidad de la banda,  
g es la aceleración de la gravedad, y  
 $\gamma$  es el peso específico de la banda.

Sustituyendo en la Ec. 2.13, se obtiene:

$$K = \frac{\gamma A \left(\frac{\pi D n}{60}\right)^2}{g}$$

$$K = \frac{0.035 \left(\frac{\pi * 3.937 * 1.2}{60}\right)^2}{386.4} A$$

$$K = 5.5 \times 10^{-6} A$$

- Ángulo de contacto: este ángulo representa el contacto que tiene la banda con ambas poleas simultáneamente y esta definido por la Ec. 2.14.

$$\theta = \pi - 2 \left( \frac{R_1 - R_2}{C} \right) \quad (2.14)$$

donde:  $\theta$  es el ángulo de contacto,

$R_1$  es el radio de la polea impulsora, y

$R_2$  es el radio de la polea impulsada.

Sustituyendo en la Ec. 2.14, se obtiene:

$$\theta = \pi - 2 \left( \frac{2.5}{56.523} \right) = \pi - 0.09 = 3.05$$

- Fuerza  $F_2$ :

La fuerza  $F_2$  es la fuerza que experimenta el lado flojo de la banda, y se determina utilizando la Ec. 2.15, así:

$$\frac{F_1 - K}{F_2 - K} = e^{\mu\theta} \quad (2.15)$$

donde:  $F_1$  es la fuerza del lado tenso de la banda,  
 $F_2$  es la fuerza del lado flojo de la banda,  
 $K$  es el factor  $K$ ,  
 $\mu$  es el coeficiente de fricción, y  
 $\theta$  es el ángulo de contacto.

Sustituyendo en la Ec. 2.15, se obtiene:

$$F_2 = K + \frac{F_1 - K}{e^{\mu\theta}}$$

$$F_2 = 5.5 \times 10^{-4} A + \frac{350A - 5.5 \times 10^{-4} A}{e^{0.4 \times 3.05}}$$

$$F_2 = 103.33 A.$$

- Área de la banda:

Para determinar el área de la banda es necesario conocer su potencia de diseño, la cual se determina con la Ec. 2.16, así:

$$P_{otd} = K_s * P_{otn}, K_s = 1 \quad (2.16)$$

donde:  $P_{osd}$  es la potencia de diseño,

$K_s$  es el factor de servicio de la banda, 1 para un torque uniforme,  
y

$P_{otn}$  es la potencia nominal.

Sustituyendo en la Ec. 2.16, se obtiene:

$$P_{otd} = P_{otn} = 0.003 \text{ hp}$$

$$P_{otd} = \frac{F_1 - F_2}{33000} V, V = ft/min \quad (2.17)$$

$$0.003 = \frac{350A - 103.33A}{33000} \left( \frac{\pi * 0.98 * 1.2}{12} \right)$$

$$A = 0.13 \text{ pulg}^2.$$

Considerando banda plana  $A = b \cdot t$ , con  $t = 2.2 \text{ mm}$  (0.087 pulg) para una banda TEXROPE® SPEEDFLEX® tipo II, por lo tanto,  $b = 1.5 \text{ pulg}$ .

- Longitud de la banda:

La longitud de la banda esta definida por la Ec. 2.18, así:

$$L = 2[C^2 - \pi(R_1 - R_2)]^{1/2} + \pi(R_1 + R_2) + \frac{2}{C}(R_1 - R_2) \quad (2.18)$$

donde: L es la longitud de la banda,

$R_1$  es el radio de la polea impulsora,

$R_2$  es el radio de la polea impulsada, y

C es la distancia entre centros.

Sustituyendo en la Ec. 2.18, se obtiene:

$$L = 2[56.52^2 - \pi(5 - 2.5)]^{1/2} + \pi(5 + 2.5) + \frac{2}{56.52}(5 - 2.5)$$

$$L = 136.56$$

$$L = 1365.6 \text{ mm.}$$

1360 mm para una banda TEXROPE® SPEEDFLEX® tipo II

Dado que las dimensiones de las poleas y la relación de velocidad son las mismas, los parámetros de la banda son los mismos, y sólo cambia su longitud, por lo que para las bandas 2, 3 y 4 sólo se determinará este último parámetro, así:

- ✓ Diseño banda 2:

- Área de la banda:

$$A = 0.13 \text{ pulg}^2$$

- Considerando banda plana  $A = b \cdot t$ , con  $t = 2.2 \text{ mm}$  (0.087 pulg) para una banda TEXROPE® SPEEDFLEX® tipo II, por lo tanto,  $b = 1.50 \text{ pulg}$ .

- Longitud de la banda:

Sustituyendo en la Ec. 2.18, se obtiene:

$$L = 2[60^2 - \pi(5 - 2.5)]^{1/2} + \pi(5 + 2.5) + \frac{2}{60}(5 - 2.5)$$

$$L = 143.5$$

$$L = 1435 \text{ mm}$$

1400 mm para una banda TEXROPE® SPEEDFLEX® tipo II

✓ Diseño banda 3

- Área mínima de la banda:

$$A = 0.13 \text{ pulg}^2$$

Considerando banda plana  $A = b \cdot t$ , con  $t = 2.2 \text{ mm}$  (0.087 pulg) para una banda TEXROPE® SPEEDFLEX® tipo II, por lo tanto,  $b = 1.50 \text{ pulg}$

- Longitud de la banda:

Sustituyendo en la Ec. 2.18, se obtiene:

$$L = 2[C^2 - \pi(R_1 - R_2)]^{1/2} + \pi(R_1 + R_2) + \frac{2}{C}(R_1 - R_2)$$

$$L = 2[125^2 - \pi(5 - 2.5)]^{1/2} + \pi(5 + 2.5) + \frac{2}{125}(5 - 2.5)$$

$$L = 273.5$$

$$L = 2735 \text{ mm}$$

2725 mm para una banda TEXROPE® SPEE® tipo II

✓ Diseño banda 4

- Área mínima de la banda:

$$A = 0.13 \text{ pulg}^2$$

Considerando banda plana  $A = b \cdot t$ , con  $t = 2.2 \text{ mm}$  (0.087 pulg) para una banda TEXROPE® SPEEDFLEX® tipo II, por lo tanto,  $b = 1.50 \text{ pulg}$ .

- Longitud de la banda:

Sustituyendo en la Ec. 2.18, se obtiene:

$$L = 2[33.7^2 - \pi(2.5 - 2.5)]^{1/2} + \pi(2.5 + 2.5) + \frac{2}{33.7}(2.5 - 2.5)$$

$$L = 83.11 \text{ cm}$$

$$L = 831.1 \text{ mm}$$

825 mm para una banda TEXROPE® SPEEDFLEX® tipo II

### 2.2.3. SELECCIÓN DE MOTOR

Para seleccionar el motor, primero se necesita calcular el ángulo de contacto ( $\alpha$ ), el cual se presenta en la Fig. 2.14, que tendrá el cilindro a soldar y los rodillos, por lo que se hace un esquema de la distribución de los mismos en la Fig. 2.15:

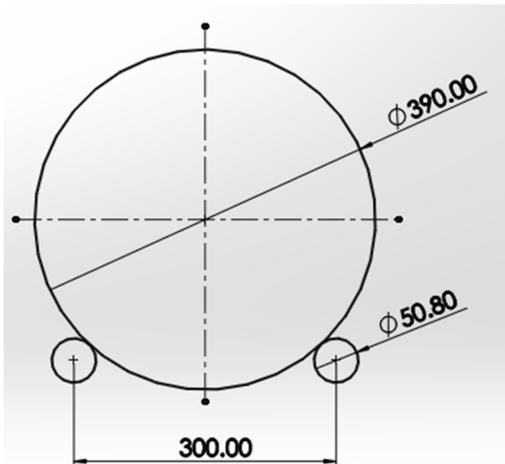


Fig. 2.14. Esquema de posicionamiento del cilindro y los rodillos. Cotas en mm.

Posteriormente se analiza la geometría para un rodillo, ya que, por simetría, es lo mismo que para el otro rodillo:

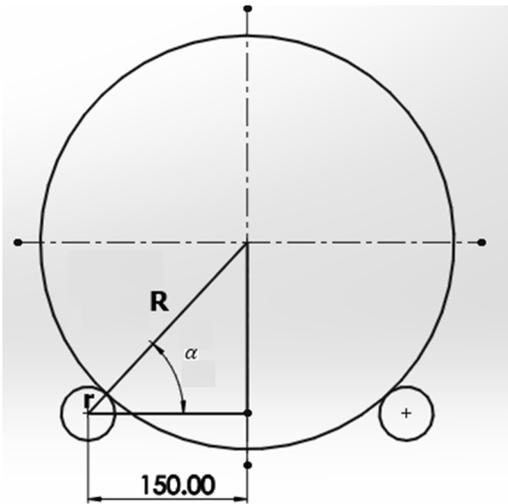


Fig. 2.15. Análisis geométrico del rodillo y cilindro.

Donde se obtiene:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{15}{2.54 + 19.5} \\ \alpha &= 47.11^\circ. \end{aligned}$$

Además, la velocidad angular ( $\omega$ ) está dada por la Ec. 2.19, la cual se expresa como:

$$\omega = \frac{V}{r} \quad (2.19)$$

donde:  $V$  es la velocidad tangencial en pulg/min, y  
 $r$  es el radio del rodillo en pulg.

Siendo la velocidad de alimentación 30.4 pulg/min para el cilindro de 39 cm de diámetro, se tomará la mitad de ésta como velocidad de avance de la soldadura.

$$\begin{aligned} V &= 0.5(30.4) \frac{\text{pulg}}{\text{min}} \\ V &= 15.2 \frac{\text{pulg}}{\text{min}} \end{aligned}$$

Entonces:

$$\omega = \frac{15.2 \frac{\text{pulg}}{\text{min}} * 1/60 \frac{\text{min}}{\text{seg}}}{1 \text{ pulg}}$$

$$\omega = 0.25 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$n = 2.4 \text{ rpm.}$$

Finalmente, se procede a calcular el torque mínimo para hacer girar al cilindro en operación, a partir de la fuerza de fricción que se debe tener para que gire a la velocidad necesaria, en la Fig. 2.16 se presenta un diagrama de la distribución de fuerzas:

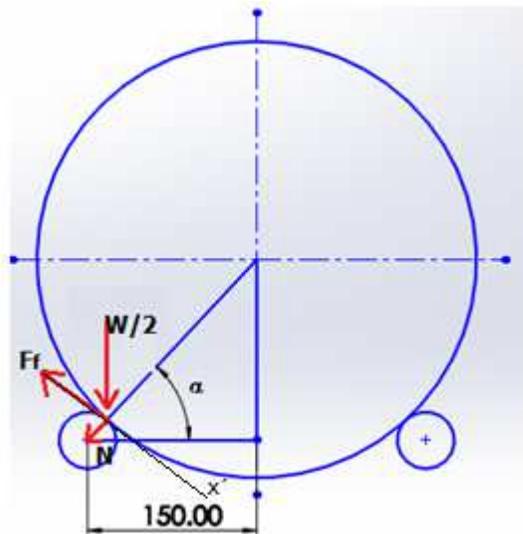


Fig. 2.16. Análisis estático del sistema cilindro-rodillo: W es el peso del cilindro,  $F_f$  es la fuerza de fricción, N es la fuerza normal y  $\alpha$  es el ángulo de contacto. Cotas en mm.

Posteriormente, se procedió a hacer sumatoria de fuerzas en dirección del eje  $x'$  e igualando a cero:

$$\leftarrow + \sum F_{x'} = 0 \quad -\frac{W}{2} \cos(43.76) + \mu N = 0$$

$$N = \frac{\frac{W}{2} \cos(43.76)}{\mu}$$

Tomando un peso del cilindro de 35 lb, teniendo en consideración una sobrecarga por cualquier situación y un coeficiente de fricción ( $\mu$ ) correspondiente a un acero en contacto con acero, de 0.74:

$$N = \frac{\frac{35}{2} \cos(43.76)}{0.74} = 17.1 \text{ lb}$$

Lo que hace una fuerza de fricción de:

$$F_f = \mu \cdot N = 0.74 \cdot 17.1 = 12.64 \text{ lb}$$

En la Tabla 2.2 se presenta el resumen de las inercias en el sistema motor y eje principal y se procede a calcular el torque de arranque a plena carga con la Ec. 2.20, la cual se expresa como:

Tabla 2.2. Cálculo de inercias.

Elemento	$I = \frac{\gamma \pi R^4 b}{2g} \text{ lb} \cdot \text{pulg} \cdot \text{s}^2$	Carga, lb-pulg	rpm
Recipiente	7.68		
Eje principal	0.0025	15.8	4.84
Eje motor	0.0015		
Polea	0.032		
Rodillo	1.23		

$$T_a = T_1 + \frac{n_1}{\eta_1} T_2 + \frac{n_1 n_2}{\eta_1 \eta_2} T_3 + \left[ I_1 + \frac{n_1}{\eta_1} I_2 + \frac{n_1 n_2}{\eta_1 \eta_2} I_3 \right] \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (2.20)$$

donde:  $T_a$  es el torque de arranque,

$T$  es el torque en el eje,

$n$  es la velocidad en rpm,

$\eta$  es la eficiencia de transmisión,

I es la inercia en cada eje,

$\omega$  es la velocidad angular, y

t es el tiempo de arranque, el cual es de 1.5 s.

Cálculo de inercias:

$$I_1 = 0.0015 + 0.035 = 0.0365 \text{ lb}\cdot\text{pulg}\cdot\text{s}^2$$

$$I_2 = 0.035 + 1.23 + 0.0025 = 1.2675 \text{ lb}\cdot\text{pulg}\cdot\text{s}^2$$

$$I_3 = 7.68 \text{ lb}\cdot\text{pulg}\cdot\text{s}^2$$

Sustituyendo en la Ec. 2.20, se obtiene:

$$T_a = 0 + \frac{10/10}{0.95} * 15.8 + 0 + \left[ 0.0365 + \frac{10/10}{0.95} * 1.27 + \frac{10}{0.95} * \frac{39}{15} * \frac{39}{0.8} * 7.68 \right] \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

$$T_a = 16.63 + [11.47] \frac{4.84 * \left(\frac{2\pi}{60}\right)}{1.5}$$

$$T_a = 16.63 + 3.87 = 20.5 \text{ lb}\cdot\text{pulg}$$

Por lo tanto, se busca un motor que sea capaz de dar un torque de arranque de 20.5 lb·pulg y un torque a plena carga de 16.63 lb·pulg.

De la gama de motores posibles por la magnitud del torque se encuentran un motor trifásico de 0.75 hp con una velocidad de 1,800 rpm, sin embargo, se descarta dado que las velocidades requeridas son bajas y el consumo de corriente seria el mismo, dando como resultado un sobrecalentamiento en el motor, obligando a colocar un enfriamiento forzado de esta forma generando mayor consumo de energía eléctrica.

Otro motor funcional para la aplicación de la máquina es un servo motor caracterizado por generar un gran torque y variación de velocidad sin generar mayor consumo de corriente, por lo tanto, no tendrá el sobrecalentamiento que genera el motor trifásico, sin embargo, se descarta debido a que el cambio de modalidad de la máquina generara incertidumbre de las velocidades, ocasionando pérdidas de precisión, tiempo en la calibración y además, dado que el torque es generalmente grande para este motor, el consumo de potencia es aproximadamente 700 W, y requerirá un voltaje de 220 V, al igual que el motor

trifásico, ambos quedarían con un exceso de potencia para la aplicación de la máquina.

El motor que mejor se ajusta es un Motor Paso a Paso (PAP), por su amplia gama de motores de todos tamaños, se pueden seleccionar motores con bajo consumo de energía con 24 - 48 V, y una corriente máxima de 3 A, sin embargo, su mayor característica es que puede generar grandes torques y el control de velocidades está dado por pasos lo que permite mayor precisión en los movimientos, además, un manejo mediante código para el cambio de modalidad de la máquina por lo que no se perderá precisión en los movimientos ni tiempo de calibración porque se hará de forma automática mediante código al contrario del servo motor que se tendría que regular con potenciómetro, por lo tanto, se toma a bien la selección del motor paso a paso.

Como se utilizará un motor de pasos la equivalencia de torque es de 2.25 N·m y 1.81 N·m. Por lo tanto, se selecciona el motor con las especificaciones que se presenta en la Tabla 2.3, y en la Fig. 2.17 se presenta una imagen representativa del motor:

Tabla 2.3. Especificaciones técnicas del motor paso a paso Bipolar NEMA 24.

Especificaciones eléctricas:	Descripción
Número de parte del fabricante:	24hs39 – 3008d
Tipo de motor:	Unipolar/bipolar
Ángulo de paso:	1.8°
Holding Torque (bipolar):	4.0 N·m
Holding Torque (unipolar):	2.8 N·m
Corriente nominal (bipolar):	2.12 Serie A
Corriente nominal (paralelo):	4.24 bipolar A
Corriente nominal (unipolar):	3.0 A
Resistencia Fase (bipolar):	Serie 2.8 ohms
Resistencia de fase (paralelo):	Bipolar 0.7 ohms
Resistencia de fase (unipolar):	1.4 ohms
Recomendado voltaje:	24 – 48 V
Inductancia (Serial bipolar):	12.0 MH ± 20% (1 kHz)
Inductancia bipolar (paralelo):	3.0 MH ± 20% (1 kHz)
Inductancia (unipolar):	3.0 MH ± 20% (1 kHz)



Fig. 2.17. Motor paso a paso bipolar NEMA 24.

#### **2.2.4. DISEÑO DE EJES**

Los ejes numerados en la Fig. 2.18, son los que conforman la máquina estos mediante el sistema de bandas se encargan de realizar todos los movimientos necesarios, el número 3 es el eje donde irá incorporado el motor, este brinda moviendo al eje 1 y al eje 4, de manera independiente, el eje 4 inferior se encarga de llevar el movimiento al eje 4 superior que a su vez lleva el movimiento al tornillo de potencia de movimiento axial. Con esta distribución se espera satisfacer las necesidades de operación de la máquina a diseñar.

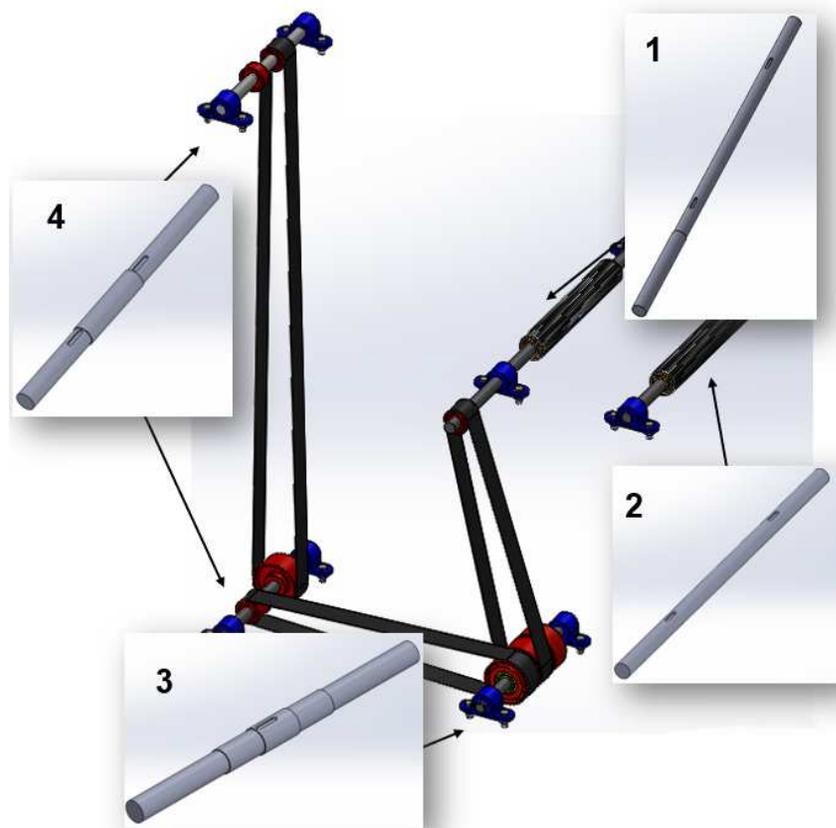


Fig. 2.18 Ejes a diseñar para la máquina.

Para el diseño de los ejes se analizó el más crítico, es decir, el eje que estará sometido a la mayor cantidad de esfuerzos y mayores niveles de esfuerzo, por lo tanto, se utilizará de referencia para la selección del diámetro mínimo de los otros ejes. Utilizando un acero SAE 1045 el cual es el más indicado para ejes por su maquinabilidad, resistencia al desgaste, dureza, entre otras.

En la Fig. 2.19 se presenta el eje principal, el cual es el que trasmite la potencia hacia el cilindro para que pueda rotar.



Fig. 2.19. Esquema del sistema del eje principal.

En la Fig. 2.19 se presenta la polea (1) y las chumaceras (2), y el rodillo (3). Teniendo esta geometría los cálculos mecánicos son:

➤ Análisis estático

Tomando en consideración la configuración física de los elementos, y las cargas a las que estará sometida el eje, se posicionan las fuerzas y reacciones en el lugar correspondiente como se presenta en la Fig. 2.20:

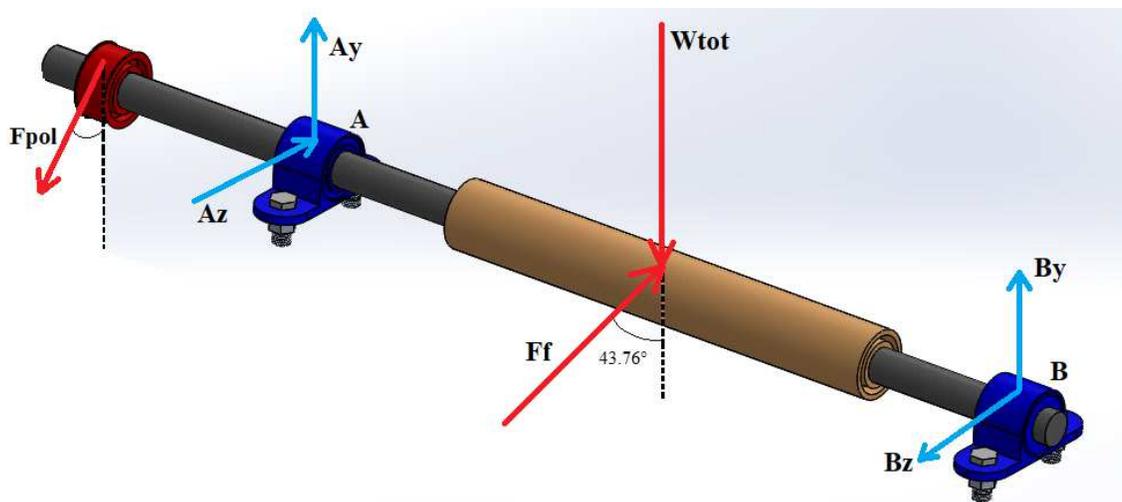


Fig. 2.20. Análisis estático del eje principal y sus elementos.  $F_{pol}$  es la fuerza resultante de la polea,  $W_{tot}$  es el peso del cilindro más el peso del rodillo,  $F_f$  es la fuerza de fricción que ejerce el cilindro sobre el rodillo, y  $A_y$ ,  $A_z$ ,  $B_y$  y  $B_z$  son las reacciones en los cojinetes.

En la Fig. 2.21 se presenta las dimensiones del eje:

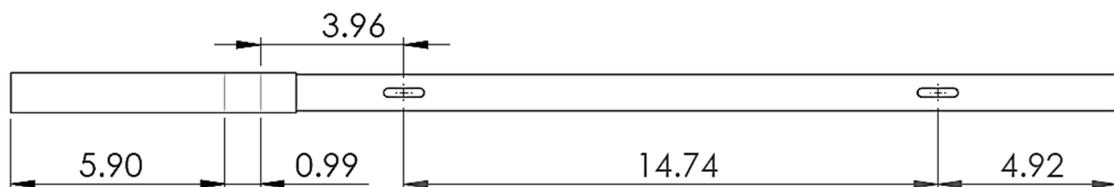


Fig. 2.21. Esquema del diseño del eje principal.

Se procede a hacer sumatoria de momento en A (ver, Fig. 2.20) e igualando a cero en el plano XY, para encontrar la reacción  $B_y$ . Además, se tomó el peso estimado del rodillo de 10 lb.

$$\oplus \sum M_A = 0$$

$$F_{pol} \cos 16.7(5.91) + F_f \cos 43.76(11.815) - W_{tot}(11.815) + B_y(23.63) = 0$$

$$54.6 * \cos 16.3(5.91) + 12.64 * \cos 43.76(11.815) - 37.5(11.815) + B_y(23.63) = 0$$

$$B_y = 1.07 \text{ lb}$$

Haciendo sumatoria de fuerzas en dirección del eje y se obtiene que:

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$-54.6 * \sin 16.3 + A_y + 12.64 * \sin 43.76 - 37.5 + 1.07 = 0$$

$$A_y = 79.7 \text{ lb}$$

Haciendo lo mismo para el plano XZ se tiene que:

$$B_z = 8.2 \text{ lb}$$

$$A_z = 14.78 \text{ lb.}$$

➤ **Análisis de momentos y esfuerzos**

Se procedió a analizar las cargas y elaborar el diagrama de momentos en el plano XY tal como se presenta en la Figs. 2.22 y 2.23.

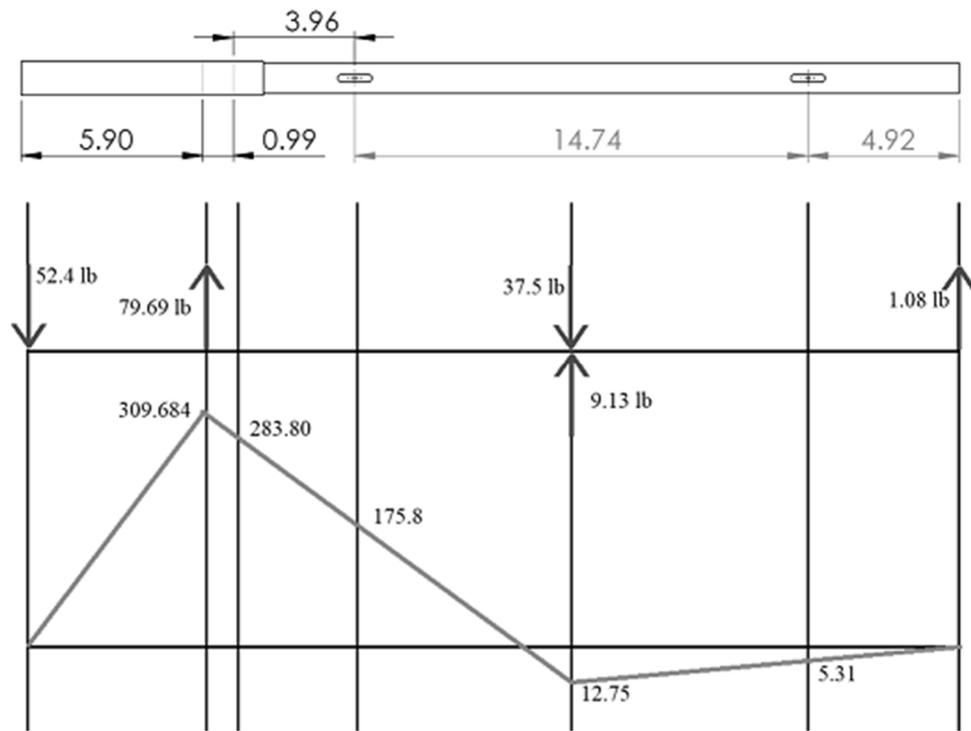


Fig. 2.22. Análisis de fuerzas y diagrama de momentos en el plano XY del eje principal.

De la misma forma para el plano XZ:

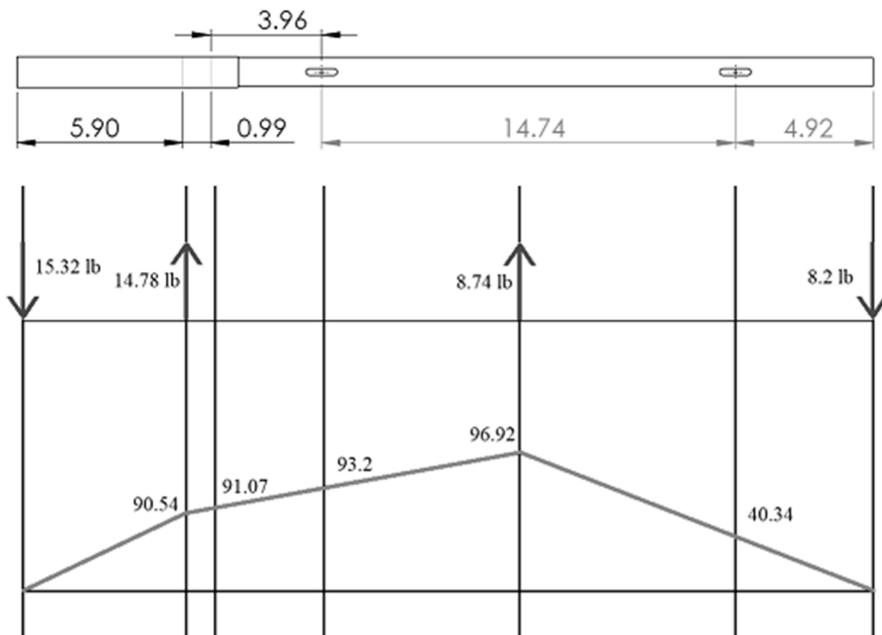


Fig. 2.23. Análisis de fuerzas y diagrama de momentos en el plano XZ del eje principal.

Luego se obtienen del diagrama los momentos en los lugares críticos que corresponde al cambio de sección y a los dos cuñeros del rodillo y se saca el momento resultante de ambas dimensiones:

$$M_1 = \sqrt{309.69^2 + 90.54^2} = 322.65 \text{ lb} \cdot \text{pulg}$$

$$M_2 = \sqrt{283.8^2 + 91.07^2} = 298.05 \text{ lb} \cdot \text{pulg}$$

$$M_3 = \sqrt{175.8^2 + 93.2^2} = 198.98 \text{ lb} \cdot \text{pulg}$$

$$M_4 = \sqrt{12.75^2 + 96.92^2} = 97.76 \text{ lb} \cdot \text{pulg}$$

$$M_5 = \sqrt{5.31^2 + 40.34^2} = 40.69 \text{ lb} \cdot \text{pulg}.$$

Concentradores de esfuerzo:

Se procede a determinar el factor de concentración de esfuerzos a la flexión  $K_t$  para el cambio de sección, utilizando la Fig. 2.24.

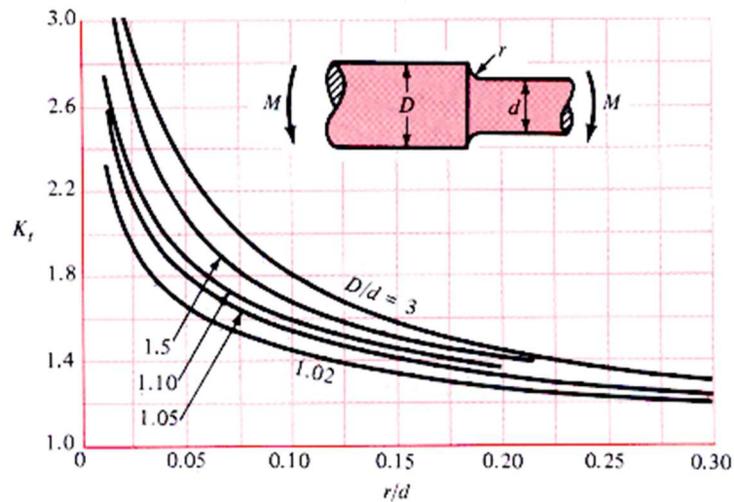


Fig. 2.24. Diagrama de concentrador de esfuerzo a la flexión para un cambio de sección cilíndrico [15].

$$\frac{r}{d} = \frac{0.05d}{d} = 0.05; \frac{D}{d} = \frac{1.1d}{d} = 1.1$$

$$K_t = 1.9$$

Se asume un esfuerzo a carga a la tracción de 85 ksi y una sensibilidad a la muesca  $q$  es igual a 0.85, y se determina el factor de concentración del esfuerzo por cambio de sección utilizando la Ec. 2.21, se tiene:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (2.21)$$

donde:  $K_f$  es el factor de concentración por cambio de sección,

$q$  es la sensibilidad de la muesca, y

$K_t$  es el factor de concentración.

Sustituyendo en la Ec. 2.21, se obtiene:

$$K_f = 1 + (0.85)(1.9 - 1) = 1.765$$

Se obtiene el factor de concentración de esfuerzo por la cuña de 2.2:

$$K_t = 2.2$$

Se procede a calcular el momento flector máximo para cada punto crítico del eje con la Ec. 2.22:

$$\sigma = \frac{32 * M}{\pi * d^3} \quad (2.22)$$

donde:  $M$  es el momento, y

$D$  es el diámetro externo del eje.

Sustituyendo en la Ec. 2.22, para cada punto crítico del eje:

$$\sigma_1 = \frac{32 * 322.65}{\pi * (1.1d)^3} = 2.47 d^{-3} ksi$$

$$\sigma_2 = \frac{32 * 298.05}{\pi * (1.1d)^3} * 1.765 = 4.03 d^{-3} ksi$$

$$\sigma_3 = \frac{32 * 198.98}{\pi * (d)^3} * 2.2 = 4.46 d^{-3} ksi$$

$$\sigma_4 = \frac{32 * 97.76}{\pi * (d)^3} = 0.98 d^{-3} ksi$$

$$\sigma_5 = \frac{32 * 40.69}{\pi * (d)^3} * 2.2 = 0.91 d^{-3} ksi.$$

De los cuales se obtiene como resultado un esfuerzo máximo de  $4.46 d^{-3}$  ksi en el cuñero izquierdo del eje.

➤ Análisis de fatiga

A partir del esfuerzo máximo crítico, se designa el esfuerzo equivalente alterno, y se tiene un esfuerzo cortante alterno medio de cero, como:

$$\sigma_{ea} = 4.46 d^{-3} \text{ ksi}$$

Se calcula el esfuerzo cortante medio a partir del torque en el rodillo:

$$\tau_m = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{16 * 15.8}{\pi * d^3} = 80.47 d^{-3} \text{ psi}$$

Luego se calcula el esfuerzo equivalente medio a partir de la teoría de máxima distorsión, Ec. 2.23:

$$\sigma_{em} = (\sigma_m + 3\tau_m)^{\frac{1}{2}} \quad (2.23)$$

Teniendo que el esfuerzo flector medio es cero debido a que el eje neutro coincide con el centro geométrico del eje, se tiene que:

$$\sigma_{em} = (0 + 3 * 80.47 d^{-3})^{\frac{1}{2}} = 15.54 d^{-\frac{3}{2}} \text{ psi}$$

Factores de resistencia a la fatiga:

- ✓ Factor superficial y microestructura: esta dado por la Ec. 2.24 que relaciona el esfuerzo ultimo a la tracción y el tipo de acabado superficial del eje.

$$K_a = a S_u^b \quad (2.24)$$

donde:  $S_{m\acute{a}s}$  es el esfuerzo a carga a la tracción,

a y b son parámetros de diseño seleccionados por el tipo de acabado superficial según la Tabla A3.

De la Tabla A.3 se tiene que  $a = 2.7$  para superficie maquinada y un exponente b de -0.265, por lo que se obtiene que:

$$K_a = 2.7 * 85^{-0.265} = 0.83$$

✓ Factor de tamaño:

Ya que el diámetro es de 1 pulg, se tiene la Ec. 2.25:

$$K_b = \left(\frac{D}{0.3}\right)^{-0.107} \quad (2.25)$$

donde:  $K_b$  es el factor de tamaño, y

$D$  es el diámetro del eje.

Lo que da como resultado:

$$K_b = 0.88d^{-0.107}$$

✓ Factor de carga:

Este no sufre modificación en el proceso, por lo tanto, se le asigna el valor de 1.

$$K_c = 1$$

✓ Esfuerzo para vida infinita:

Para el esfuerzo a carga a la tracción el esfuerzo para fatiga en vida infinita [15] está dado por la Ec. 2.26.

$$S'_n = 0.5 S_u \quad (2.26)$$

donde:  $S'_n$  es el esfuerzo para vida infinita, y

$S_{m\acute{a}x}$  es el esfuerzo a carga a la tracción

Sustituyendo en la Ec. 2.26, se obtiene:

$$S'_n = 0.5 * 85 \text{ ksi}$$

$$S'_n = 42.5 \text{ ksi}$$

Luego, se calcula el límite de resistencia a la fatiga por la carga de flexión:

$$S_n = K_a * K_b * K_c * S'_n$$

$$S_n = 0.83 * 0.88d^{-0.107} * 1 * 42.5$$

$$S_n = 31.04d^{-0.107} \text{ ksi}$$

Finalmente se calcula el diámetro mínimo para que el material pueda solventar las sollicitaciones que tiene al rotar el cilindro durante la soldadura, por medio de la línea de Goodman, con la Ec. 2.27:

$$\frac{\sigma_{ea}}{S_n} + \frac{\sigma_{em}}{S_{m\acute{a}x}} = \frac{1}{n} \quad (2.27)$$

donde:  $n$  es el factor de seguridad, el cual se tomará de 1,

$S_{m\acute{a}x}$  es el esfuerzo a carga a la tracción,

$\sigma_{em}$  es el esfuerzo medio, y

$\sigma_{ea}$  es el esfuerzo alternante.

Sustituyendo, se obtiene:

$$\frac{4.46 d^{-3} kpsi}{31.04 d^{-0.107} kpsi} + \frac{15.54 d^{-3/2} psi}{85 kpsi} = \frac{1}{1}$$

$$d = 0.51 plg \approx 1/2 pulg$$

#### ➤ Análisis de Deflexión

Se realizará un análisis de deflexión para determinar el diámetro óptimo de trabajo que permita la menor deformación en el proceso de soldadura, se considerará un eje entre dos apoyos con una carga distribuida equivalente al peso del cilindro vacío, tal como se presenta en la Fig. 2.25, y se utilizará la Ec. 2.28.

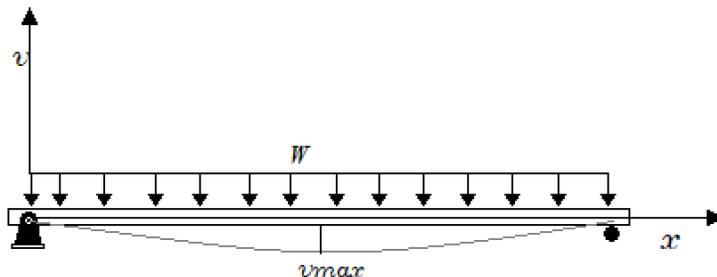


Fig. 2.25 Esquema de análisis de deflexión.

$$v_{m\acute{a}x} = \frac{-5 w}{384 E I} (L^4) \quad (2.28)$$

donde:  $v_{m\acute{a}x}$  es la deflexi3n m\acute{a}xima en pulg,

w es la carga distribuida en lb/pulg,

E es el m3dulo de elasticidad del acero,

I es el momento de inercia del eje en pulg<sup>4</sup>, y

L es la distancia entre apoyos del eje en pulg.

En la Tabla 2.4 se presenta el an\acute{a}lisis de la deflexi3n causada por el cilindro vaci3o sobre el eje, para un cilindro de 45 kg el peso del cilindro vaci3o es de 30 kg, distribuidos en dos ejes da un total de 30 lb por eje; por lo tanto: considerando el peso de 30 lb, modulo E = 30 MPa, longitud de 23.63 pulg de eje y una carga distribuida de 1.27 lb/pulg, se tiene como resultado:

Tabla 2.4. C\acute{a}lculo de deflexi3n.

Di\acute{a}metro, pulg	Momento de Inercia, pulg <sup>4</sup>	V <sub>m\acute{a}x</sub> , pulg	V <sub>m\acute{a}x</sub> , mm
0.5	0.003067962	-5.60E-02	-1.4223738
0.75	0.015531555	-1.11E-02	-0.28096273
1.00	0.049087385	-3.50E-03	-0.08889836
1.25	0.119842249	-1.43E-03	-0.03641277

Del an\acute{a}lisis de deflexi3n en la Tabla 2.4 se presenta que el di\acute{a}metro que permitir\acute{a} que no se pierda presi3n en las dimensiones del eje es de 1 pulg, por lo que este se tomara para el dise\~no de todos los ejes como sigue.

### Dise\~no de los ejes restantes

- ✓ Eje del rodillo loco: en la Fig. 2.26 se presenta el dise\~no del eje n\~mero 2 con sus dimensiones.



Fig. 2.26. Esquema y dimensionamiento del eje 2, di\`ametro 1 pulg.

- ✓ Eje del motor: en la Fig. 2.27 se presenta el diseño del eje número 3 con sus dimensiones.



Fig. 2.27. Esquema y dimensionamiento del eje 3, diámetro 1 pulg.

- ✓ Eje de la polea vertical: en la Fig. 2.28 se presenta el diseño del eje número 4 con sus dimensiones.

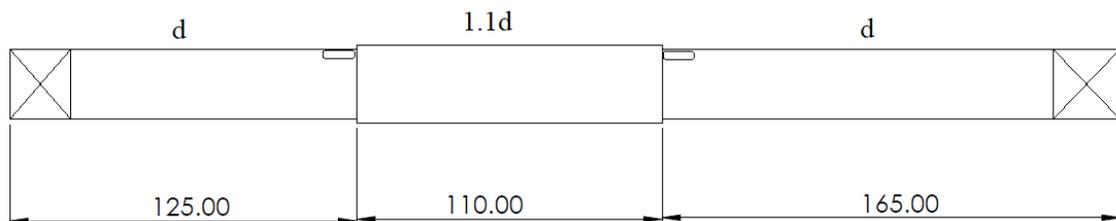


Fig. 2.28. Esquema y dimensionamiento del eje 4, diámetro 1 pulg.

## 2.2.5. SELECCIÓN DE COJINETES

Para la selección de cojinetes se debe analizar el tipo de cargas que experimentara este durante su funcionamiento, para el caso de los ejes de la maquina se nota que no existen cargas axiales (a lo largo del eje), por tanto, se debe seleccionar un cojinete que soportes cargas radiales, para el caso utilizaremos cojinetes de bolas.

La selección de cojinetes de bolas se realiza con la Tabla A.5 para la cual se necesita saber la carga dinámica en el cojinete (Ec. 2.30), esta relaciona una carga denominada equivalente (Ec. 2.29) y la vida útil del cojinete; la carga

equivalente se obtiene de la resultante de las cargas radiales en el cojinete ( $A_z$ ,  $A_y$ ,  $B_z$ ,  $B_y$ ) y un factor de rotación  $V_r$ .

$$F_e = V_r F_R \quad (2.29)$$

donde:  $F_e$  es la carga equivalente,

$V_r$  es el factor de rotación del cojinete (1.0 si la pista interna es la que gira y 1.2 si la pista externa es la que gira), y

$F_r$  es la carga radial resultante aplicada al cojinete.

$$C_d = F_e \left( \frac{L_d}{10^6} \right)^{1/k} \quad (2.30)$$

donde:  $C_d$  es la carga dinámica,

$F_e$  es la carga equivalente,

$K$  es el factor de vida del cojinete (3 para cojinete de bola), y

$L_d$  vida útil de diseño del cojinete ( $L_d = L_{10} \cdot n \cdot 60$ ,  $L_{10}$  Tabla A.4).

Determinando la carga equivalente:

$$F_A = \sqrt{79.7^2 + 14.78^2} = 81.06 \text{ lb}$$

$$F_B = \sqrt{1.07^2 + 8.2^2} = 8.27 \text{ lb.}$$

Como la carga en A es la más grande se utilizará como referencia para todos los cojinetes de la máquina, por lo tanto:

$$C_A = 81.06 * \left( \frac{L_d}{10^6} \right)^{1/3}$$

Con  $L_{10}$  para 14 kh, de la Tabla A.4

$$C_A = 81.06 * \left( \frac{14 \times 10^3 * 0.8 * 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 32.96 \text{ lb}$$

En la Tabla A.5 se presenta como se puede seleccionar el cojinete que convenga sobre la base de las dimensiones requeridas, por lo tanto, se selecciona para cada eje un cojinete número 6205 con diámetro interno de 1 pulg, diámetro externo de 2.04 pulg y un espesor de 0.5 pulg.

### 2.3. DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL

En la Fig. 2.29 se presenta el diagrama de bloques del sistema de control de velocidad y sentido de giro para el motor, en el cual se utilizará una fuente externa de voltaje para el motor y será regulado con un PWM (modulación por ancho de pulso), además se utilizará un servo motor pequeño para iniciar y formar el cordón de soldadura.



Fig. 2.29. Diagrama de bloque del sistema de control de velocidad.

En la Tabla 2.5 se presentan los elementos que componen el circuito de control.

Tabla 2.5 Elementos del circuito de control

Elemento	Cantidad
Pulsadores	3
Módulos de Relé	3
Servo motor pequeño	1
Drive Modelo A4988	1
Arduino Uno	1
Cables	---
Protoboard	1
Computadora	1
Fuente externa de 24 V	1
Fuente externa de 12 V	1

En la Figs. 2.30 y 2.31 se presentan las propuestas del circuito del sistema de control y del sistema de control para los motores, respectivamente.

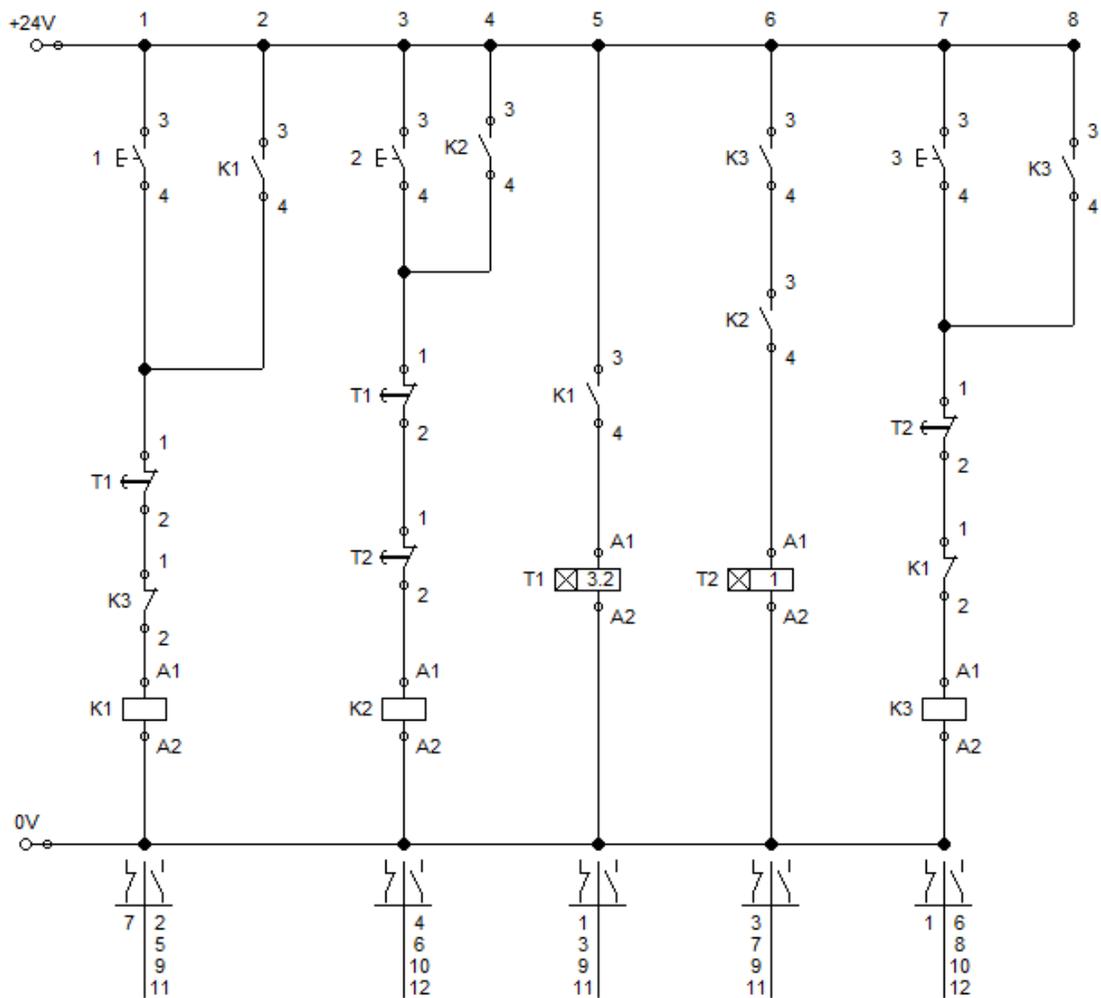


Fig. 2.30. Circuito del sistema de control.

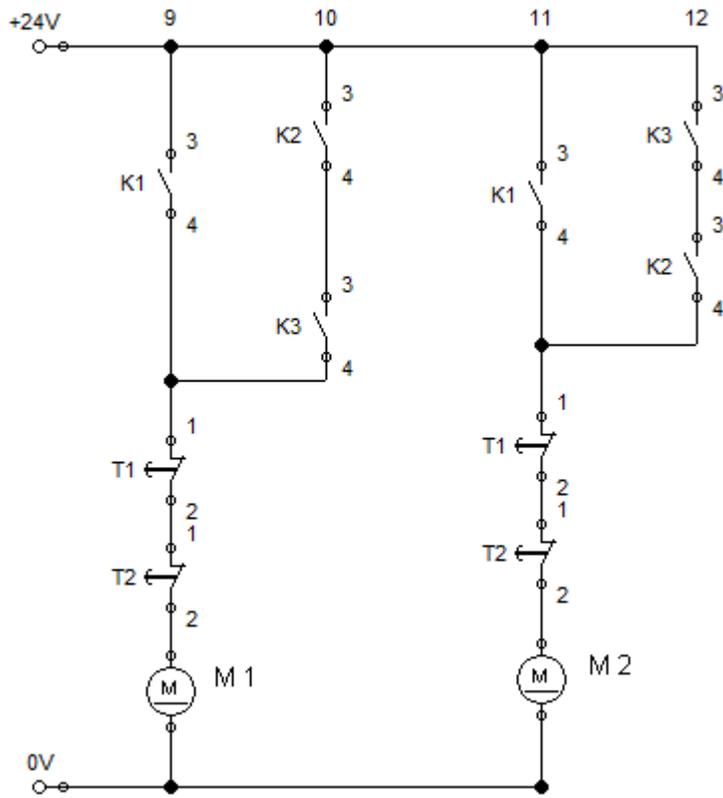


Fig. 2.31. Circuito del sistema de control para los motores.

El circuito inicia con la pulsación de los pulsadores, mientras el pulsador  $E_3$  este inactivo funcionará el circuito que se activa con el pulsador  $E_1$  y viceversa, con el fin de no interrumpir un circuito del otro al accionar el pulsador  $E_2$ ; con el pulsador  $E_1$  se activa el relé  $K_1$  enviando una señal dando apertura al circuito 1 con una señal alta al driver A4988 para que el motor  $M_1$  gire en sentido de las manecillas del reloj, se activa el temporizador  $T_1$  que simula la entrada a un bucle For donde darán 768 pasos que equivalen a 3.84 vueltas en un tiempo de 3.2 min lo que corresponde a 1.2 rpm del motor, con ello se generan los 2.4 rpm para el eje principal, mientras el bucle está activo se ejecuta el circuito de la Fig. 2.31 para el servo motor  $M_2$  el cual estará oscilando entre 0 y 90° cada 0.01 s, de esta forma se formara el cordón de soldadura, una vez se termina el bucle, se desactivan las entradas de energía con  $T_1$  y el sistema se detiene quedando en la espera nuevamente de la pulsación del botón  $E_1$ .

Para la soldadura longitudinal se deberá cambiar las poleas previamente, el circuito inicia con la pulsación del pulsador  $E_3$ , este envía una señal a Arduino indicando que desactive el circuito del pulsador  $E_1$ , y Arduino esta alerta a la línea de código donde el inicio es el pulsador  $E_2$ , una vez el pulsador  $E_2$  es activado inicia el cordón y al mismo tiempo se activa el motor  $M_1$  esta vez con un giro en sentido contrario a las agujas del reloj enviando una señal de bajo al driver A4988 y al igual que antes se activa un temporizador  $T_2$  que da entrada a un bucle for esta vez con un límite de 3800 pasos equivalentes a 19 vueltas en un tiempo de 1 min lo que corresponde a las 19 rpm que debe producir el motor y dando como resultado 76 rpm en el tornillo de potencia donde se transporta el brazo, mientras el bucle está activo se ejecuta el circuito de la Fig. 2.31 para el servo motor  $M_2$  el cual estará oscilando entre 0 y 90° cada 0.01 s, de esta forma se formará el cordón de soldadura, una vez se termina el bucle, se desactivan las entradas de energía con  $T_2$  y el sistema se detiene quedando a la espera nuevamente de la pulsación del botón  $E_2$ .

### **3. ESTUDIO ECONÓMICO**

Este estudio económico se enfoca en la determinación de costos para la fabricación de la propuesta de máquina que se ha diseñado en el capítulo 2, en el cual se definieron los elementos más importantes de la máquina, tanto sus dimensiones como también sus materiales. Así, en la valorización económica para la fabricación de la máquina se han considerado los factores siguientes:

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Costos directos:<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Materia prima,</li><li>✓ Mano de obra directa.</li><li>✓ Asesorías,</li></ul></li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Costos indirectos<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Consumo energético,</li><li>✓ Materiales consumibles, y</li><li>✓ Renta o alquiler.</li></ul></li></ul> |
|---|--|

#### **3.1. COSTOS DIRECTOS**

Los costos directos son aquellos que pueden medirse y asignarse directamente como son los costos de materia prima, costos de maquinado, costos de herrería y accesorias técnicas, así en este capítulo se calculan cada uno de ellos.

##### **3.1.1. MATERIA PRIMA**

Se considera como materia prima a los diferentes materiales que se utilizan o transforman convirtiéndolos en un bien o producto que satisfaga una necesidad.

En la Tabla 3.1 se presenta los costos de materia prima, elementos mecánicos y electrónicos.

Tabla 3.1. Costo de materia prima.

Elemento	Cantidad	P / U, \$	P / T, \$
Rodamiento de bola	4	4.5	18.00
Ángulo de hierro 3 mm X 2 pulg	5	44.50	222.50
Pletina 1/8 X 2 pulg	1	9.25	9.25
Banda plana (Faja)	10	2.25	22.50
Rodillos de goma	2	10	20.00
Rodillos de acero dulce	2	20	40.00
Polea de aluminio serie 3000 de 4 pulg	4	7.5	30.00
Polea de aluminio serie 3000 de 2 pulg	5	7.5	37.50
Tubo de aluminio serie 3000 1 pulg	1	13.5	13.50
Lámina lisa 1.22 x 2.44 m (4 x 8 pie) calibre 22	7	39.50	276.50
Resorte	2	10.74	21.48
Pernos, tuercas, arandelas, entre otras.	--	--	10.00
Acero SAE 1045 HR Ø 1 pulg	1	113.54	113.54
Motor	1	100.00	100.00
Varilla cuadrada 2.254 x 2.254 cm (1 x 1 pulg) de 1 m	2	25.90	51.80
Pletina de aluminio serie 3000	1	23.95	23.95
Polo magnético MIG	1	36.26	36.26
Arduino UNO	1	13.00	13.00
Cables tipo Dupont	--	--	8.00
Protoboard	1	4.00	4.00
Módulo de relé 1 canal 5 V para Arduino	3	1.40	4.20
Servomotor SG90	1	10.77	10.77
Botones	3	1.80	5.40
Resistencias 10 kΩ	--	--	5.07
Capacitor 100 Mf	1	1.99	1.99
Drive A4988 "Pololu"	1	2.54	2.54
Otros elementos	--	--	100.00
<b>Total</b>			<b>1201.75</b>

### 3.1.2. COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA

Los costos de mano de obra directa se orientan al trabajo de maquinado y trabajo de herrería, estos se calculan sobre la base de los costos de horas hombre, costos de hora máquina, costos operativos por hora y margen de ganancia, así:

➤ **Costo de trabajos de maquinado**

Para los trabajos de maquinado se considera un torno a precio actual de US\$ 9,950.00 y una fresa a precio actual de US\$ 7,000.00 un salario de trabajador de 1.4 veces el salario mínimo actual del país con un total de US\$ 532.00 y un total de 48 h de trabajo por semana. A continuación, se explica en términos generales el cálculo de costos en una secuencia de 5 pasos [24]:

**Paso 1:** Tiempo de maquinado, es el tiempo de uso de la máquina durante el trabajo, utilizando las Ecs. 3.1 y 3.2. se determina el tiempo de uso de la máquina relacionando la longitud maquinada, la velocidad de corte y el avance del corte para el torno y la longitud maquinada con la el avance de la mesa para una fresadora respectivamente [25].

$$T_M = \frac{L_m}{f * n} \quad (3.1)$$

donde:  $T_M$  es el tiempo de maquinado en min,

$L_M$  es la longitud de maquinado en pulg,

$f$  es el avance por revolución en pulg/r, y

$n$  es la velocidad del husillo en rpm.

$$T_M = \frac{L_m}{V_f} \quad (3.2)$$

donde:  $T_M$  es el tiempo de maquinado en min,

$L_M$  es la longitud de maquinado en pulg, y

$V_f$  es la velocidad de avance de la mesa en pulg/min.

Para el caso del trabajo de torno la velocidad del husillo se determina con la Ec. 3.3 que relaciona la velocidad de corte y el diámetro del material, dicha velocidad se toma de la Tabla 3.2 [25].

$$n = \frac{V_c * 12}{\pi D_m} \quad (3.3)$$

donde: n es la velocidad del husillo en rpm,

$D_m$  es el diámetro mecanizado, y

$V_c$  es la velocidad de corte en pie/min.

Tabla 3.2. Velocidades de corte en el torno [26].

Material	Desbastado		Acabado		Roscado	
	pie/min	m/min	pie/min	m/min	pie/min	m/min
Acero de maquina	90	27	100	90	35	11
Acero de herramienta	70	21	90	27	30	9
Hierro fundido	60	18	80	24	25	8
Bronce	90	27	100	30	25	8
Aluminio	200	61	300	93	60	18

**Paso 2:** Costo por minuto del trabajador, el costo por minuto del trabajador es lo que le cuesta a la empresa el salario del trabajador por minuto, para este cálculo se consideran un mes igual a 4 semanas y 48 h trabaja por semana.

$$W_0 = \frac{532 \text{ usd}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ mes}}{4 \text{ semanas}} * \frac{1 \text{ semana}}{48 \text{ horas}} * \frac{1 \text{ horas}}{60 \text{ min}} = 0.05 \text{ usd/min}$$

**Paso 3:** Costo por minuto de la máquina, el costo por minuto de la máquina es lo que le cuesta a la empresa la mantención de la máquina por minuto, considerando el mantenimiento y la depreciación de la máquina durante un año, dicha depreciación se determina de la Tabla 3.3 que establece el Art. 30 de la ley de impuesto sobre la renta en El Salvador, el cual establece el valor residual de la máquina luego de su uso o explotación. Utilizando la Ec. 3.4 para el torno y la fresa se tiene respectivamente:

$$\text{Depreciaion} = \frac{\text{precio inicial} - \text{valor residual}}{\text{vida util}} \quad (3.4)$$

Para el caso del torno, considerando una vida útil de 10 años y un uso de más de 4 años se tiene:

$$Depreciacion = \frac{\$9950.00 - \$9950.00 * 20\%}{10} = \$796.00$$

Para el caso de la fresadora, considerando una vida útil de 10 años y un uso de más de 4 años se tiene:

$$Depreciacion = \frac{\$7,000.00 - \$7000.00 * 20\%}{10} = \$560.00$$

Tabla 3.3 porcentaje de valor para una máquina luego de su uso o explotación

Años de vida	Porcentaje del precio de la máquina o bienes usados %
1	80
2	60
3	40
4 o mas	20

La depreciación da como resultado un costo de US\$0.09/h para el torno y de US\$0.06/h para una fresadora, estos valores serán utilizados donde corresponda en el transcurso del capítulo.

**Paso 4:** Costos de Operación, son la suma de los costos por minuto del trabajador más los costos por minuto de la máquina, agregando un extra al trabajar de 5% y un extra a la máquina de 10%, como se muestra en la Ec. 3.5, con el fin de solventar otros gastos como es el uso de taladrina, lápiz, entre otras [24].

$$M = W_0(1 + \%w_0) + M_T(1 + \%m_t) \quad (3.5)$$

donde: M es el costo de operación,

$W_0$  es el salario del trabajador en min,

$\%w_0$  es el porcentaje agregado al trabajador,

$M_T$  es el costo de la máquina en min, y

$\%m_T$  es el porcentaje agregado a la máquina.

**Paso 5:** Costo total de la pieza, el cual relaciona el costo de operación con los tiempos de trabajo, ocio e intercambio de herramientas, así como el costo de las diferentes herramientas a utilizar durante el trabajo como se presenta en la Ec. 3.6 [24].

$$Costo_{total} = M(N_b * T_L + N_b * T_M + N_T * T_{CT}) + N_T * C_T \quad (3.6)$$

donde: M es el costo de operación en min,

$N_b$  es el número de piezas a fabricar,

$T_L$  es el tiempo de ocio (3 min),

$T_M$  es el tiempo de maquinado,

$N_T$  es el número de herramientas a utilizar,

$T_{CT}$  es el tiempo de cambio por herramienta de corte (2 min), y

$C_T$  es el costo de la adquisición de herramientas.

A continuación, se realizan los cálculos para los costos de mecanizado de ejes y poleas, además, se realizan los cálculos para los costos de herrería, asesorías técnicas, entre otras.

➤ **Costo de maquinado de poleas y ejes**

En las Figs. 3.1 - 3.8 se presentan las poleas y ejes a diseñados con sus especificaciones técnicas, posteriormente se procede al cálculo de costos siguiendo los 5 pasos descritos anteriormente. Estos costos son:

**a) Costos de la polea 1:**

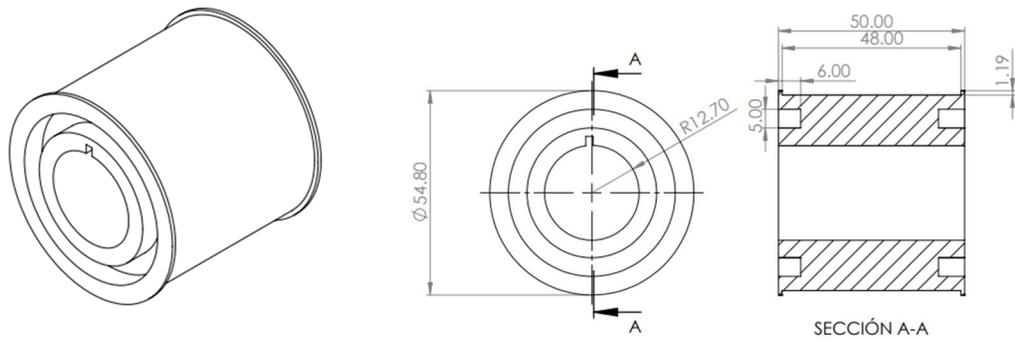


Fig. 3.1. Especificaciones para el cálculo de costos de la polea de cambio: a) Polea de cambio de 54.8 mm de diámetro; y b) detalle de polea de cambio.

Siguiendo la secuencia de 5 pasos explicada anteriormente se procede al cálculo de costos de la polea 1 como sigue:

**Paso 1:** Tiempo de maquinado, como la Ec. 3.1 requiere la velocidad del husillo para el caso de la polea de la Fig. 3.1 se tiene que su material es aluminio por lo que de la Tabla 3.2 para aluminio, la velocidad de corte es de 200 pie/min, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.3:

$$n = \frac{V_C * 12}{\pi D_M}$$

$$n = \frac{200 * 12}{\pi(50/25.4)} = 388.083 \text{ rpm}$$

Teniendo la velocidad del husillo se puede determinar el tiempo de maquinado, considerando un avance de 0.02 pulg/r y sustituyendo en la Ec. 3.1 se tiene:

$$T_M = \frac{L_M}{f * n_c} = \frac{100/25.4}{0.02 * 388.083} = 0.50 \text{ min}$$

**Paso 2:** Costo por minuto del trabajador

$$W_0 = 0.05 \text{ usd/min}$$

**Paso 3:** Costo por minuto de la máquina

$$M_{Torno} = 0.09 \text{ usd/h}$$

**Paso 4:** Costos de operación, sustituyendo en la Ec. 3.5 se tiene:

$$M = 0.05(1 + \%5) + (0.09/60)(1 + \%10) = 0.054 \text{ usd}/\text{min}$$

**Paso 5:** Costo total de la pieza, se considera la utilización de una herramienta de corte (buril) con un costo de \$ 6.00, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.6 se tiene:

$$Costo_{total1} = M(N_b * T_L + N_b * T_M + N_T * T_{CT}) + N_T * C_T$$

$$Costo_{total1} = 0.054(1 * 3 + 1 * 0.50 + 1 * 2) + 1 * 6$$

$$Costo_{total1} = 6.29 \text{ usd}$$

**b) Costos polea 2:**

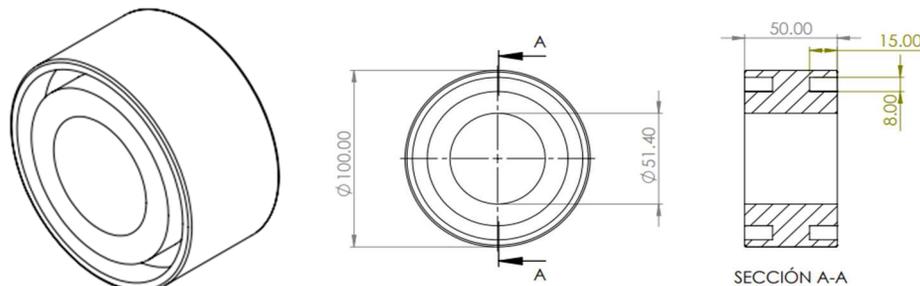


Fig. 3.2. Especificaciones para el cálculo de costos de las poleas con rodamiento: a) Polea con rodamientos de  $d = 100 \text{ mm}$ ; y b) detalle de polea con rodamiento.

Siguiendo la secuencia de 5 pasos explicada anteriormente se procede al cálculo de los costos de la polea 2 como sigue:

**Paso 1:** Tiempo de maquinado, como la Ec. 3.1 requiere la velocidad del husillo para el caso de la polea de la Fig. 3.2 se tiene que su material es aluminio por lo que de la Tabla 3.2 para aluminio, la velocidad de corte es de 200 pie/min, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.3:

$$n = \frac{V_C * 12}{\pi D_M}$$

$$n = \frac{200 * 12}{\pi(100/25.4)} = 194.04 \text{ rpm}$$

Teniendo la velocidad del husillo se puede determinar el tiempo de maquinado, considerando un avance de 0.02 pulg/r y sustituyendo en la Ec. 3.1 se tiene:

$$T_M = \frac{L_M}{f * n_c} = \frac{100/25.4}{0.02 * 194.04} = 1 \text{ min}$$

**Paso 2:** Costo por minuto del trabajador

$$W_0 = 0.05 \text{ usd/min}$$

**Paso 3:** Costo por minuto de la máquina

$$M_{Torno} = 0.09 \text{ usd/h}$$

**Paso 4:** Costos de operación, sustituyendo en la Ec. 3.5 se tiene:

$$M = 0.05(1 + \%5) + (0.09/60)(1 + \%10) = 0.054 \text{ usd/min}$$

**Paso 5:** Costo total de la pieza, se considera la utilización de una herramienta de corte (buril) con un costo de \$ 6.00, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.6 se tiene:

$$Costo_{total2} = M(N_b * T_L + N_b * T_M + N_T * T_{CT}) + N_T * C_T$$

$$Costo_{total2} = 0.054(2 * 3 + 2 * 1 + 1 * 2) + 1 * 6$$

$$Costo_{total2} = 6.54 \text{ usd}$$

c) **Costos polea 3:**

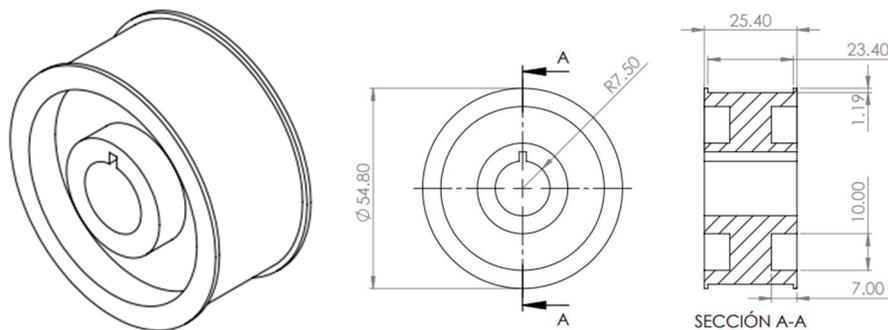


Fig. 3.3. Especificaciones para el cálculo de costos de polea superior; a) Polea superior de  $d = 54.80$  mm; y b) detalle de polea superior.

Siguiendo la secuencia de 5 pasos explicada anteriormente se procede al cálculo de costos de la polea 3 como sigue:

**Paso 1:** Tiempo de maquinado, como la Ec. 3.1 requiere la velocidad del husillo para el caso de la polea de la Fig. 3.3 se tiene que su material es aluminio por lo que de la Tabla 3.2 para aluminio, la velocidad de corte es de 200 pie/min, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.3:

$$n = \frac{V_C * 12}{\pi D_M}$$

$$n = \frac{200 * 12}{\pi(54.8/25.4)} = 354.1 \text{ rpm}$$

Teniendo la velocidad del husillo se puede determinar el tiempo de maquinado, considerando un avance de 0.02 pulg/r y sustituyendo en la Ec. 3.1 se tiene:

$$T_M = \frac{L_M}{f * n_c} = \frac{50.8/25.4}{0.02 * 354.1} = 0.28 \text{ min}$$

**Paso 2:** Costo por minuto del trabajador

$$W_0 = 0.05 \text{ usd/min}$$

**Paso 3:** Costo por minuto de la máquina

$$M_{Torno} = 0.09 \text{ usd/h}$$

**Paso 4:** Costos de operación, sustituyendo en la Ec. 3.5 se tiene:

$$M = 0.05(1 + \%5) + (0.09/60)(1 + \%10) = 0.054 \text{ usd/min}$$

**Paso 5:** Costo total de la pieza, se considera la utilización de una herramienta de corte (buril) con un costo de \$ 6.00, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.6 se tiene:

$$Costo_{total3} = M(N_b * T_L + N_b * T_M + N_T * T_{CT}) + N_T * C_T$$

$$Costo_{total3} = 0.054(3 * 3 + 3 * 0.28 + 1 * 2) + 1 * 6$$

$$Costo_{total3} = 6.64 \text{ usd}$$

**d) Costos polea 4:**

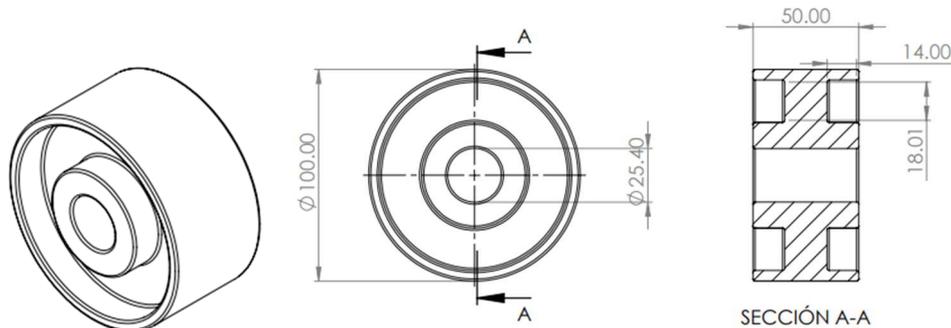


Fig. 3.4. Especificaciones para el cálculo de costos de polea central: a) Polea central con  $d = 100$  mm; b) detalle de polea central.

Siguiendo la secuencia de 5 pasos explicada anteriormente se procede al cálculo de costos de la polea 4 como sigue:

**Paso 1:** Tiempo de maquinado, como la Ec. 3.1 requiere la velocidad del husillo para el caso de la polea de la Fig. 3.4 se tiene que su material es aluminio por lo que de la Tabla 3.2 para aluminio, la velocidad de corte es de 200 pie/min, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.3:

$$n = \frac{V_C * 12}{\pi D_M}$$

$$n = \frac{200 * 12}{\pi(100/25.4)} = 194.04 \text{ rpm}$$

Teniendo la velocidad del husillo se puede determinar el tiempo de maquinado, considerando un avance de 0.02 pulg/r y sustituyendo en la Ec. 3.1 se tiene:

$$T_M = \frac{L_M}{f * n_c} = \frac{100/25.4}{0.02 * 194.04} = 1 \text{ min}$$

**Paso 2:** Costo por minuto del trabajador

$$W_0 = 0.05 \text{ usd/min}$$

**Paso 3:** Costo por minuto de la máquina

$$M_{\text{torno}} = 0.09 \text{ usd/h}$$

**Paso 4:** Costos de operación, sustituyendo en la Ec. 3.5 se tiene:

$$M = 0.05(1 + \%5) + (0.09/60)(1 + \%10) = 0.054 \text{ usd}/\text{min}$$

**Paso 5:** Costo total de la pieza, se considera la utilización de una herramienta de corte (buril) con un costo de \$ 6.00, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.6 se tiene:

$$\text{Costo}_{total4} = M(N_b * T_L + N_b * T_M + N_T * T_{CT}) + N_T * C_T$$

$$\text{Costo}_{total4} = 0.054(2 * 3 + 2 * 1 + 1 * 2) + 1 * 6$$

$$\text{Costo}_{total4} = 6.54 \text{ usd.}$$

**e) Costos del eje principal:**

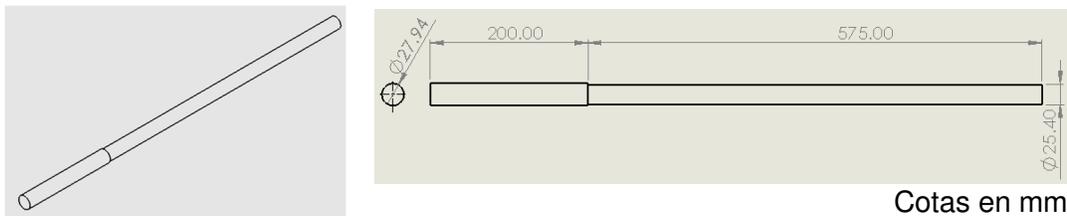


Fig. 3.5. Especificaciones para el cálculo de costos de eje principal: a) Eje principal de  $d= 1$  pulg; b) detalle de eje principal.

Siguiendo la secuencia de 5 pasos explicada anteriormente se procede al cálculo de costos de la polea 1 como sigue:

**Paso 1:** Tiempo de maquinado, como la Ec. 3.1 requiere la velocidad del husillo para el caso del eje de la Fig. 3.5 se tiene que su material es acero para máquina por lo que de la Tabla 3.2 para acero de máquina, la velocidad de corte es de 90 pie/min, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.3:

$$n = \frac{V_C * 12}{\pi D_M}$$

$$n = \frac{90 * 12}{\pi(1.25)} = 275.02 \text{ rpm}$$

Teniendo la velocidad del husillo se puede determinar el tiempo de maquinado, considerando un avance de 0.02 pulg/r y sustituyendo en la Ec. 3.1 se tiene:

$$T_M = \frac{L_M}{f * n_c} = \frac{775/25.4}{0.02 * 275.02} = 5.55 \text{ min}$$

**Paso 2:** Costo por minuto del trabajador

$$W_0 = 0.05 \text{ usd/min}$$

**Paso 3:** Costo por minuto de la máquina

$$M_{Torno} = 0.09 \text{ usd/h}$$

**Paso 4:** Costos de operación, sustituyendo en la Ec. 3.5 se tiene:

$$M = 0.05(1 + \%5) + (0.09/60)(1 + \%10) = 0.054 \text{ usd/min}$$

**Paso 5:** Costo total de la pieza, se considera la utilización de una herramienta de corte (buril) con un costo de \$ 6.00, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.6 se tiene:

$$Costo_{total5} = M(N_b * T_L + N_b * T_M + N_T * T_{CT}) + N_T * C_T$$

$$Costo_{total5} = 0.054(1 * 3 + 1 * 5.54 + 1 * 2) + 1 * 6$$

$$Costo_{total5} = 6.56 \text{ usd}$$

#### f) Costos del eje de motor

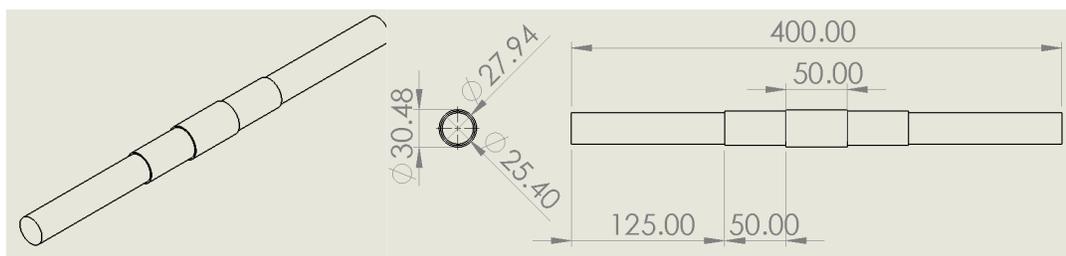


Fig. 3.6. Especificaciones para el cálculo de costos de eje de motor: a) Eje de motor de d= 1.0 pulg; b) detalle de eje de motor. Cotas en mm.

Siguiendo la secuencia de 5 pasos explicada anteriormente se procede al cálculo de costos del eje de motor como sigue:

**Paso 1:** Tiempo de maquinado, como la Ec. 3.1 requiere la velocidad del husillo para el caso del eje de la Fig. 3.6 se tiene que su material es acero para

máquina por lo que de la Tabla 3.2 para acero de máquina, la velocidad de corte es de 90 pie/min, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.3:

$$n = \frac{V_C * 12}{\pi D_M}$$

$$n = \frac{90 * 12}{\pi(1.25)} = 275.02 \text{ rpm}$$

Teniendo la velocidad del husillo se puede determinar el tiempo de maquinado, considerando un avance de 0.02 pulg/r y sustituyendo en la Ec. 3.1 se tiene:

$$T_M = \frac{L_M}{f * n_c} = \frac{400/25.4}{0.02 * 275.02} = 2.86 \text{ min}$$

**Paso 2:** Costo por minuto del trabajador

$$W_0 = 0.05 \text{ usd/min}$$

**Paso 3:** Costo por minuto de la máquina

$$M_{\text{torno}} = 0.09 \text{ usd/h}$$

**Paso 4:** Costos de operación, sustituyendo en la Ec. 3.5 se tiene:

$$M = 0.05(1 + \%5) + (0.09/60)(1 + \%10) = 0.054 \text{ usd/min}$$

**Paso 5:** Costo total de la pieza, se considera la utilización de una herramienta de corte (buril) con un costo de \$ 6.00, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.6 se tiene:

$$\text{Costo}_{\text{total5}} = M(N_b * T_L + N_b * T_M + N_T * T_{CT}) + N_T * C_T$$

$$\text{Costo}_{\text{total5}} = 0.054(1 * 3 + 1 * 2.86 + 1 * 2) + 1 * 6$$

$$\text{Costo}_{\text{total5}} = 6.42 \text{ usd}$$

**g) Costos del eje de la banda vertical:**

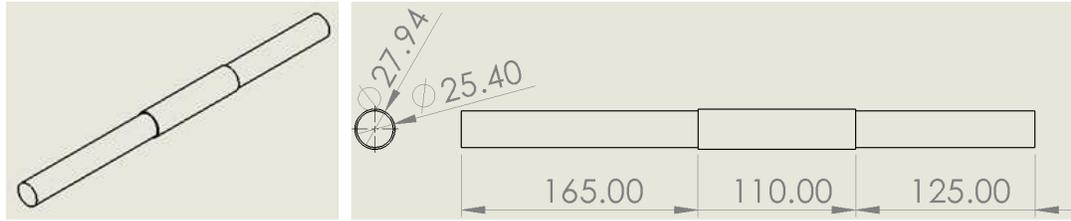


Fig. 3.7. Especificaciones para el cálculo de costos de eje de banda vertical: a) Eje de banda vertical de  $d= 1.0$  pulg; b) detalle de eje de banda vertical. Cotas en mm.

Siguiendo la secuencia de 5 pasos explicada anteriormente se procede al cálculo de costos del eje de la banda vertical como sigue:

**Paso 1:** Tiempo de maquinado, como la Ec. 3.1 requiere la velocidad del husillo para el caso del eje de la Fig. 3.7 se tiene que su material es acero para máquina por lo que de la Tabla 3.2 para acero de máquina, la velocidad de corte es de 90 pie/min, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.3:

$$n = \frac{V_C * 12}{\pi D_M}$$

$$n = \frac{90 * 12}{\pi(1.25)} = 275.02 \text{ rpm}$$

Teniendo la velocidad del husillo se puede determinar el tiempo de maquinado, considerando un avance de 0.02 pulg/r y sustituyendo en la Ec. 3.1 se tiene:

$$T_M = \frac{L_M}{f * n_c} = \frac{400/25.4}{0.02 * 275.02} = 2.86 \text{ min}$$

**Paso 2:** Costo por minuto del trabajador

$$W_0 = 0.05 \text{ usd/min}$$

**Paso 3:** Costo por minuto de la máquina

$$M_{Torno} = 0.09 \text{ usd/h}$$

**Paso 4:** Costos de operación, sustituyendo en la Ec. 3.5 se tiene:

$$M = 0.05(1 + \%5) + (0.09/60)(1 + \%10) = 0.054 \text{ usd/min}$$

**Paso 5:** Costo total de la pieza, se considera la utilización de una herramienta de corte (buril) con un costo de \$ 6.00, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.6 se tiene:

$$Costo_{total5} = M(N_b * T_L + N_b * T_M + N_T * T_{CT}) + N_T * C_T$$

$$Costo_{total5} = 0.054(1 * 3 + 1 * 5.54 + 1 * 2) + 1 * 6$$

$$Costo_{total5} = 6.42 \text{ usd}$$

➤ **Costo de maquinado de tornillos de potencia**

En la Fig. 3.9 se presenta los tornillos de potencia a diseñar con sus especificaciones técnicas, posteriormente se procede al cálculo de costos siguiendo los 5 pasos descritos anteriormente. Estos costos son:



Fig. 3.8. Especificaciones para el cálculo de costos de los tornillos de potencia: a) Tornillo vertical  $\varnothing$  3/4 pulg, paso 1/6 pulg, altura de filete 1/12 pulg, ángulo de ataque  $\alpha = 14.5^\circ$ , longitud roscada de 25 cm y Rosca ACME; b) tornillo horizontal, paso 1/5 pulg, altura de filete 1/10 pulg, ángulo de ataque  $\alpha = 14.5^\circ$ , longitud roscada de 72.77 cm y Rosca ACME.

**a) Costos tornillo a**

Siguiendo la secuencia de 5 pasos explicada anteriormente se procede al cálculo de costos del tornillo 1 como sigue:

**Paso 1:** Tiempo de maquinado, como la Ec. 3.1 requiere la velocidad del husillo para el caso del eje de la Fig. 3.8 se tiene que su material es acero

para máquina por lo que de la Tabla 3.2 para acero de máquina, la velocidad de corte es de 90 pie/min, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.3:

$$n = \frac{V_C * 12}{\pi D_M}$$

$$n = \frac{90 * 12}{\pi(3/4)} = 458.37 \text{ rpm}$$

Teniendo la velocidad del husillo se puede determinar el tiempo de maquinado, considerando un avance de 0.02 pulg/r y sustituyendo en la Ec. 3.1 se tiene:

$$T_M = \frac{L_M}{f * n_c} = \frac{250/25.4}{0.02 * 458.37} = 1.07 \text{ min}$$

**Paso 2:** Costo por minuto del trabajador

$$W_0 = 0.05 \text{ usd/min}$$

**Paso 3:** Costo por minuto de la máquina

$$M_{Torno} = 0.09 \text{ usd/h}$$

**Paso 4:** Costos de operación, sustituyendo en la Ec. 3.4 se tiene:

$$M = 0.05(1 + \%5) + (0.09/60)(1 + \%10) = 0.054 \text{ usd/min}$$

**Paso 5:** Costo total de la pieza, se considera la utilización de una herramienta de corte (buril) con un costo de \$ 6.00, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.6 se tiene:

$$Costo_{total5} = M(N_b * T_L + N_b * T_M + N_T * T_{CT}) + N_T * C_T$$

$$Costo_{total5} = 0.054(1 * 3 + 1 * 1.07 + 1 * 2) + 1 * 6$$

$$Costo_{total5} = 6.32 \text{ usd}$$

## b) Costos tornillo 2

Siguiendo la secuencia de 5 pasos explicada anteriormente se procede al cálculo de costos del tornillo 2 como sigue:

**Paso 1:** Tiempo de maquinado, como la Ec. 3.1 requiere la velocidad del husillo para el caso del eje de la Fig. 3.4 se tiene que su material es acero

para máquina por lo que de la Tabla 3.2 para acero de máquina, la velocidad de corte es de 90 pie/min, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.3:

$$n = \frac{V_C * 12}{\pi D_M}$$

$$n = \frac{90 * 12}{\pi(1.25)} = 275.02 \text{ rpm}$$

Teniendo la velocidad del husillo se puede determinar el tiempo de maquinado, considerando un avance de 0.02 pulg/r y sustituyendo en la Ec. 3.1 se tiene:

$$T_M = \frac{L_M}{f * n_c} = \frac{727.7/25.4}{0.02 * 275.02} = 5.21 \text{ min}$$

**Paso 2:** Costo por minuto del trabajador

$$W_0 = 0.05 \text{ usd/min}$$

**Paso 3:** Costo por minuto de la máquina

$$M_{\text{torno}} = 0.09 \text{ usd/h}$$

**Paso 4:** Costos de operación, sustituyendo en la Ec. 3.5 se tiene:

$$M = 0.05(1 + \%5) + (0.09/60)(1 + \%10) = 0.054 \text{ usd/min}$$

**Paso 5:** Costo total de la pieza, se considera la utilización de una herramienta de corte (buril) con un costo de \$ 6.00, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.6 se tiene:

$$Costo_{total5} = M(N_b * T_L + N_b * T_M + N_T * T_{CT}) + N_T * C_T$$

$$Costo_{total5} = 0.054(1 * 3 + 1 * 5.21 + 1 * 2) + 1 * 6$$

$$\mathbf{Costo_{total5} = 6.55 \text{ usd}}$$

**c) Costo de maquinado de rieles.**

En la Fig. 3.9 se presenta el riel a diseñar con sus especificaciones técnicas, posteriormente se procede al cálculo de costos siguiendo los 5 pasos descritos anteriormente.

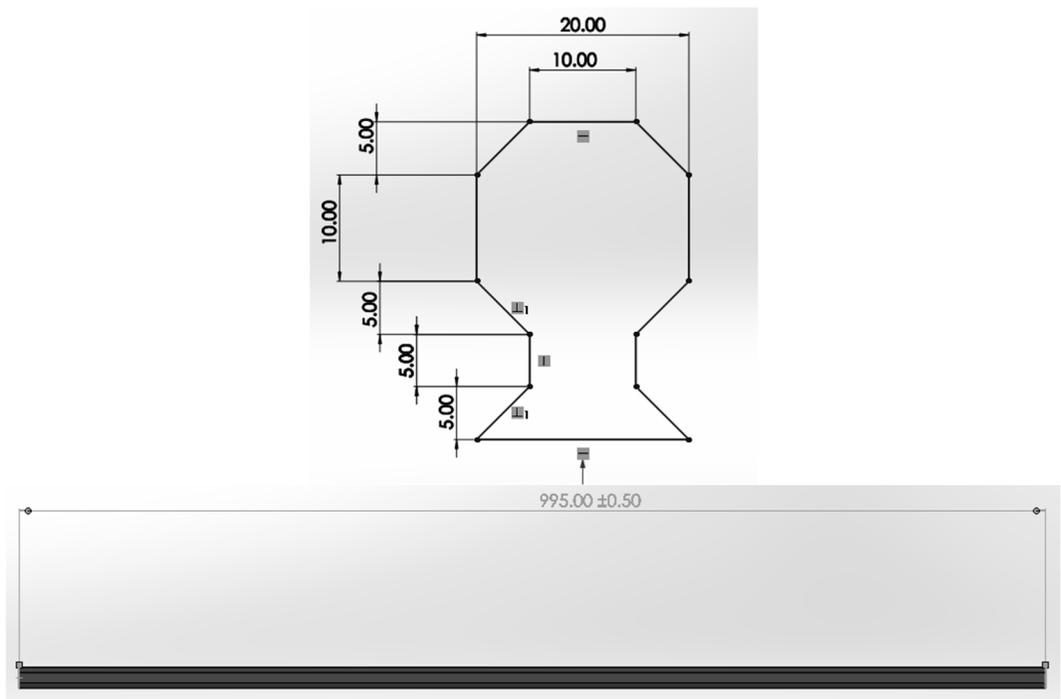


Fig. 3.9. Especificaciones para el cálculo de costos de los rieles. Cotas en mm.

Siguiendo la secuencia de 5 pasos explicada anteriormente se procede al cálculo de costos de los rieles como sigue:

**Paso 1:** Tiempo de maquinado, para el riel de la Fig. 3.12 se tomará una cantidad de 10 pasadas por las zonas a maquinarse y considerando un avance de mesa de 50 pulg/min, sustituyendo en la Ec. 3.2 para una fresadora se tiene:

$$T_M = \frac{L_M}{V_f} = \frac{10 * 995/25.4}{50} = 7.83 \text{ min}$$

**Paso 2:** Costo por minuto del trabajador

$$W_0 = 0.05 \text{ usd/min}$$

**Paso 3:** Costo por minuto de la máquina

$$M_{Fresa} = 0.06 \text{ usd/h}$$

**Paso 4:** Costos de operación, sustituyendo en la Ec. 3.5 se tiene:

$$M = 0.05(1 + \%5) + (0.06/60)(1 + \%10) = 0.054 \text{ usd/min}$$

**Paso 5:** Costo total de la pieza, se considera la utilización de una herramienta de corte (fresa) con un costo de \$ 10.00, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.6 se tiene:

$$Costo_{total5} = M(N_b * T_L + N_b * T_M + N_T * T_{CT}) + N_T * C_T$$

$$Costo_{total5} = 0.054(2 * 3 + 2 * 7.83 + 1 * 2) + 1 * 10$$

$$Costo_{total5} = 11.28 \text{ usd}$$

➤ Costo de maquinado de carrito

En la Fig. 3.10 se presenta el carrito que traslada el brazo mecánico para la soldadura, se presentan sus dimensiones y posteriormente se procede al cálculo de costos siguiendo los 5 pasos descritos anteriormente.

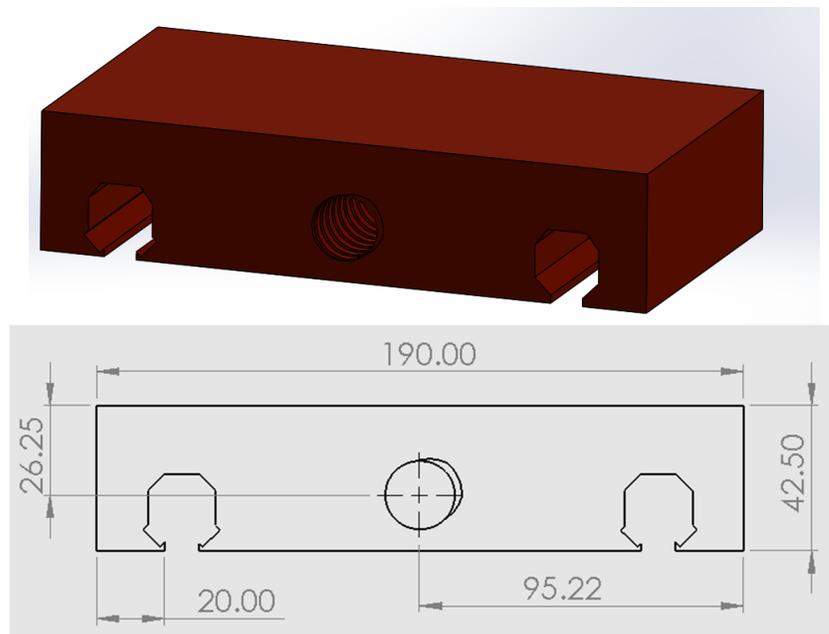


Fig. 3.10. Dimensiones del carrito transportador.

Las dimensiones que no se especifican en la imagen corresponden a los agujeros donde será introducido el tornillo de potencia 2 (diámetro interno 20 mm) y los rieles, cuyas dimensiones se encuentran en las Figs. 3.11 y 3.12 respectivamente, además su largo es de 10 cm.

Siguiendo la secuencia de 5 pasos explicada anteriormente se procede al cálculo de costos de los rieles como sigue:

**Paso 1:** Tiempo de maquinado, para el riel de la Fig. 3.12 se tomó una cantidad de 20 pasadas por las zonas a maquinar y considerando un avance de mesa de 50 pulg/min, sustituyendo en la Ec. 3.2 para una fresadora se tiene:

$$T_M = \frac{L_M}{V_f} = \frac{20 * 100/25.4}{50} = 1.57 \text{ min}$$

**Paso 2:** Costo por minuto del trabajador

$$W_0 = 0.05 \text{ usd/min}$$

**Paso 3:** Costo por minuto de la máquina

$$M_{Fresa} = 0.06 \text{ usd/h}$$

**Paso 4:** Costos de operación, sustituyendo en la Ec. 3.5 se tiene:

$$M = 0.05(1 + \%5) + (0.06/60)(1 + \%10) = 0.054 \text{ usd/min}$$

**Paso 5:** Costo total de la pieza, se considera la utilización de 3 herramientas (fresas) con un costo de \$ 10.00 cada una, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.6 se tiene:

$$Costo_{total} = M(N_b * T_L + N_b * T_M + N_T * T_{CF}) + N_T * C_F$$

$$Costo_{total} = 0.054(1 * 3 + 1 * 1.57 + 3 * 3) + 3 * 10$$

$$\mathbf{Costo_{total} = 30.73 \text{ usd}}$$

Adicional al trabajo de mecanizado se deben tomar en consideración los materiales consumibles en los procesos como refrigerante (taladrina) con un costo por galón de US\$15.50; gas queroseno para el maquinado de piezas de aluminio con un costo de US\$10.25 por galón; brochas para limpieza de viruta con un costo de US\$0.55 la unidad (a brocha); lentes de seguridad con un costo de US\$2.50 la unidad (1 par de lentes), produciendo un costo total de **US\$28.80** para los trabajos de mecanizado.

### 3.1.3. COSTOS DE HERRERÍA

Para los costos de herrería se tomó en consideración la utilización de un soldador con un costo de \$ 500.00, un taladro de banco con un costo de \$ 500.00, una cortadora de banco de \$ 200.00, un compresor de \$ 215.00, un salario del trabajador de \$ 530.00 por mes y una duración de una semana para el trabajo de herrería.

A continuación, se procede al cálculo de los costos tomando en consideración las especificaciones anteriores:

✓ **Costo de mano de obra.**

$$W_0 = \frac{532 \text{ usd}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ mes}}{4 \text{ semanas}} = 133 \text{ usd/semana}$$

✓ **Costo de Materiales consumibles.**

En el apartado 3.2 se presenta los costos de materiales consumibles para los trabajos de herrería orientados al cortado, soldado y pintado de la estructura.

✓ **Costo de la maquinaria.**

Al igual que los trabajos de mecanizado la maquinaria se deprecia a medida pasa el tiempo por lo tanto se debe determinar su depreciación, utilizando la Tabla 3.4 tomando en consideración una vida útil de 10 años para las máquinas herramientas y considerando el segundo año de actividad las depreciaciones para cada una son las siguientes:

$$Depreciacion_{soldador} = \frac{\$500.00 - \$500.00 * 0.6}{10} = \$20.00/año$$

$$Depreciacion_{taladro \text{ de } banco} = \frac{\$500.00 - \$500.00 * 0.6}{10} = \$20.00/año$$

$$Depreciacion_{cortadora \text{ de } banco} = \frac{\$200.00 - \$200.00 * 0.6}{10} = \$8.00/año$$

$$Depreciacion_{compresor} = \frac{\$215.00 - \$215.00 * 0.6}{10} = \$8.60/año$$

Los costos totales de maquinaria serán la suma de las diferentes herramientas anuales dando como resultado un costo de US\$56.60/año lo que corresponde a **US\$1.20/semana**.

✓ **Costos de operación**

El costo de operación se determina de la misma forma que los trabajos de mecanizado, por lo tanto, sustituyendo en la Ec. 3.4 se tiene:

$$M = 133(1 + \%5) + 1.20(1 + \%10) = 141.95 \text{ usd/semana}$$

✓ **Costo total de la estructura**

$$\text{Costo}_{\text{estructura}} = 141.95 \text{ usd}$$

Los costos adicionales de herrería están dados en conceptos de disco de corte de 14 pulg para la cortadora US\$4.95 (2 unidades); disco de pulir 4.5 US\$2.60; broca de ¼ pulg US\$2.05; lápiz US\$0.25; pintura verde US\$15.25 galón (2 unidades): lija #100 US\$1.00 (3 unidades); caja de electrodos MT US\$6.00 y thinner corriente US\$7.50 galón, produciendo un costo total de **US\$61.55** en concepto de consumibles para herrería

### 3.1.4. COSTOS DE ASESORÍA

Los costos de asesorías estarán en toda la duración del proyecto de construcción por lo que será necesaria una asesoría semanal con una duración de 1 hora, se tomará en consideración el aporte de dos asesores con un salario de US\$20.00/h, con una duración total del proyecto de 16 semanas, dando como resultado el costo de US\$320.00 para cada asesor, con un total de **US\$640.00** en concepto de asesorías.

En la Tabla 3.4 se resumen los costos de mano de obra directa, con un resultado de **US\$2,292.57** en concepto de mano de obra directa.

Tabla 3.4. Costos directos de la máquina.

CONCEPTO	Costo, \$
Materia prima	1,201.75
costo de trabajos de mecanizado	128.53
Costos de trabajos de herrería	203.50
Costos de asesorías	640.00
Imprevistos 10% de los costos	217.38
<b>Total</b>	<b>2391.16</b>

### 3.2. COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos son los costos de energía eléctrica, local, entre otros elementos que serán descritos en la continuidad de este capítulo.

El costo de energía eléctrica se obtiene de la distribuidora AESSE El Salvador con un costo de consumo de kilovatios/h (kWh) de US\$0.14 y un precio estándar de distribución de US\$1.89; para los trabajos de mecanizado se tomará en consideración el tiempo del proceso del mecanizado, el tiempo de ocio y el tiempo de cambio de herramienta, dado que durante este tiempo la máquina permanece en funcionamiento, el consumo energético por hora se obtiene de multiplicar la tarifa de consumo eléctrico por hora, el tiempo de uso de la máquina y la potencia de la máquina como se presenta en la Ec. 3.7.

$$\text{Costo de Energia Electrica} = T_c * T_t * P \quad (3.7)$$

donde:  $T_c$  es la tarifa de consumo,

$T_t$  es el tiempo de trabajo, y

$P$  es la potencia de la máquina.

El tiempo total de mecanizado es de 103.39 min y 26.4 min para el torno y fresadora respectivamente, con una potencia de 0.1 kW para un torno modelo SP1221(I/II) y 2.2 kW para una fresadora modelo ZX6350C, con un costo de energía eléctrica de **US\$0.024** y **US\$0.14** para el torno y fresadora respectivamente, dando un costo de energía por mecanizado de **US\$0.164** dólares de los Estados Unidos de América.

En el caso del trabajo de herrería con una potencia instalada de 13.2 kW para el soldador, 0.9 kW para el taladro de banco, 2.3 kW para la cortadora de banco y una potencia de 1.5 kW para el compresor; considerando un consumo del 30% de la capacidad del soldador y una duración de soldeo de 8 horas en todo el proyecto su costo energético resulta de US\$4.44; el tiempo de uso del taladro es de alrededor de 2 horas produciendo un costo de US\$0.25; el tiempo

de uso de la cortadora es de aproximadamente 5 horas por lo tanto su costo es de US\$1.61; el tiempo estimado de pintado con un compresor es de 5 horas con un costo de US\$1.05, el costo total de energía eléctrica para el trabajo de herrería es de **US\$7.35** dólares de los Estados Unidos de América.

Además, se debe agregar el costo del local donde se llevará a cabo el proyecto, en la zona central de San Salvador el costo de renta oscila entre US\$250.00-500.00 al mes, considerando un tiempo total de construcción de la máquina esperado de 1 semana laboral, el costo del local para el monto mínimo de renta es de aproximadamente **US\$62.50** en concepto de alquiler.

En la Tabla 3.5 se presenta los costos indirectos para la elaboración de la máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión; no se consideran costos de diseño dado que es un proyecto para beneficio de la Universidad de El Salvador y por ende no se espera retorno de la inversión.

Tabla 3.5 Costos indirectos para la elaboración del proyecto

Concepto	Costo (US\$)
Costo energético	7.51
Costo local	62.50
<b>Costo total</b>	<b>70.01</b>

El resultado final de costos para el proyecto es la suma de materia prima y costos de mano de obra directa US\$2391.16 y los costos indirectos US\$70.01, produciendo como resultado **US\$2,461.17**.

## CONCLUSIONES

Finalizado el la propuesta de diseño y el estudio económico de construcción de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión, se puede concluir lo siguiente:

- El diseño propuesto es aplicable a los tipos de cilindros clases 2 y 3, realizando una soldadura longitudinal para la unión de la lámina rolada y una soldadura circunferencial para la unión de los casquetes, estas dos funciones se realizan con un motor paso a paso NEMA 24 y un sistema de bandas TEXROPE SPEEDFLEX tipo II, además, dispone de un mecanismo de cambio manual fabricado de acero dulce (SAE 1008), logrando el cambio de funciones.
- Las funciones de soldadura longitudinal y circunferencial se realizan con un sistema de bandas, estas se guían a través de poleas con una relación 1:2, aumentando la velocidad a medida avanza, de esta forma se logran las velocidades necesarias 4.75 y 1.2 rpm, respectivamente; para la soldadura longitudinal fue necesario el diseño de un tornillo de potencia, un carrito, un brazo y un adaptador para la antorcha; y para la soldadura circunferencial se diseñaron dos cilindros con un recubrimiento de caucho para evitar el deslizamiento y desgaste de los mismos, también se dispone de un seguro aéreo y un polo magnético rotatorio para sostener los casquetes mientras son soldados.
- Se diseñó un sistema de control con Arduino Uno, controlando las velocidades del motor paso a paso mediante un driver A4988 (popolu), y un servomotor ubicado en el adaptador para la antorcha, de esta forma realizar el cordón de soldadura con una secuencia simple de vaivén; todo realizado con una botonera que envía señales a Arduino Uno y este corre el código diseñado para las diferentes funciones.

- Para la puesta en marcha del proyecto se realizó un estudio económico; primero se contempló los costos de materia prima estos son US\$1201.75; seguidamente se estimaron los costos de mano de obra directa con un sistema de 5 pasos, que consiste en calcular los costos de maquinado, salario de operarios, costo de hora máquina, más un 10% por el uso de herramientas, este sistema se aplicó a los costos de maquinado, herrería y asesorías técnicas, sumado a ello el costo de materia prima resulta un total de US\$2391.16; además, se calcularon los costos indirectos que contempla los materiales consumibles, servicios básicos y alquiler de local, con un total de US\$70.01; de esta forma el resultado total es de US\$2,461.17 para la puesta en marcha del proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] (s.f.). GNCcaldereria. Obtenido de <http://www.gnccaldereria.es/cuando-surge-inicio-soldadura/>
- [2] (s.f.). Universidad Nacional Autónoma de México, Laboratorio de Tecnología de Materiales. Obtenido de recipientes a presión: [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m5/Recipientes%20a%20presion.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m5/Recipientes%20a%20presion.pdf)
- [3] (s.f.). De máquinas y herramientas. Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-por-arco>
- [4] (s.f.). EcuRed. Obtenido de [https://www.ecured.cu/Soldadura\\_por\\_l%C3%A1ser#Caracter.C3.ADsticas\\_del\\_l.C3.A1ser](https://www.ecured.cu/Soldadura_por_l%C3%A1ser#Caracter.C3.ADsticas_del_l.C3.A1ser)
- [5] (s.f.). gnccaldereria. Obtenido de [http://www.gnccaldereria.es/tipos-de-soldadura/#1Tipos\\_de\\_soldadura\\_por\\_arco](http://www.gnccaldereria.es/tipos-de-soldadura/#1Tipos_de_soldadura_por_arco)
- [6] (s.f.). De máquinas y herramientas. Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-mig>
- [7] (s.f.). Manual de soldadura graw (MIG/MAG). En L. R. JEFFUS.
- [8] (24 de Julio de 2007). blogspot. Obtenido de [http://facuminspsold.blogspot.com/2007/07/variables-de-graw.html#:~:text=Corriente%20de%20soldadura%20\(velocidad%20de%20alimentaci%C3%B3n%20del%20electrodo\).&text=Orientaci%C3%B3n%20del%20electrodo%20\(%C3%A1ngulo%20respecto,que%20se%20va%20a%20soldar](http://facuminspsold.blogspot.com/2007/07/variables-de-graw.html#:~:text=Corriente%20de%20soldadura%20(velocidad%20de%20alimentaci%C3%B3n%20del%20electrodo).&text=Orientaci%C3%B3n%20del%20electrodo%20(%C3%A1ngulo%20respecto,que%20se%20va%20a%20soldar)
- [9] (s.f.). Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de laboratorio de tecnología de materiales, recipientes a presión: [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m5/Recipientes%20a%20presion.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m5/Recipientes%20a%20presion.pdf)
- [10] (2001). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Obtenido de Ficha Técnica de Diseño e inspección de recipientes a presión.
- [11] (2001). Manual de Soldadura de recipientes a presión. Obtenido de D.F.
- [12] Ogata, K. (2010). Ingeniería de control moderna. Madrid: Pearson.
- [13] (s.f.). HETPRO. Obtenido de [https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/#:~:text=El%20Microcontrolador%20es%20un%20circuito,variables%20\(flash%20y%20RAM\)](https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/#:~:text=El%20Microcontrolador%20es%20un%20circuito,variables%20(flash%20y%20RAM)).
- [14] (s.f.). Vistronica. Obtenido de <https://www.vistronica.com/blog/post/componentes-de-un-microcontrolador.html>

- [15] (s.f.). Historia de la Informática. Obtenido de <https://histinf.blogs.upv.es/2013/12/18/raspberry-pi/#:~:text=Raspberry%20PI%20es%20una%20placa,de%20la%20inform%C3%A1tica%20en%20las>
- [16] (s.f.). Arduino. Obtenido de <https://arduino.cl/que-es-arduino/#:~:text=Arduino%20es%20una%20plataforma%20de,una%20serie%20de%20pines%20hembra.&text=Por%20lo%20tanto%2C%20la%20placa,determinado%20dise%C3%B1o%20de%20circuitos%20inter>
- [17] (s.f.). *Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 23.01.29:05*. Obtenido de [https://www.comex.go.cr/media/3274/141\\_anexo-5-res-152-rtca-23012905.pdf](https://www.comex.go.cr/media/3274/141_anexo-5-res-152-rtca-23012905.pdf)
- [18] OXGASA. Manual del Soldador. Obtenido de <https://www.infrasal.com/industria/phocadownloadpap/manual%20del%20soldador.pdf>
- [19] (s.f.). *ING Mecanica*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html>
- [20] Budynas, R., & Nisbett, J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (8th ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.
- [21] (s.f.). *Metal Mecanica facil*. Obtenido de <https://www.metalmecanica-facil.mahtg.com/calculo-de-tornillo-sin-fin-y-su-rueda/>
- [22] (s.f.). *DiyMakers*. Obtenido de <http://diymakers.es/control-velocidad-y-sentido-de-motor-dc/>
- [23] (s.f.). *BricoLabs*. Obtenido de [https://bricolabs.cc/wiki/guias/control\\_de\\_motores](https://bricolabs.cc/wiki/guias/control_de_motores)
- [24] (s.f.). *Economía del mecanizado*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/160634/Boronat%3BIVorra%3BQuiles%20-%20Econom%C3%ADa%20del%20mecanizado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [25] (s.f.). *SANDVIK COROMANT*. Obtenido de <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/general-turning.aspx>
- [26] (s.f.). *Velocidades del Corte y RPM en el torno*. Obtenido de <https://pt.slideshare.net/aitorbar/velocidades-de-corte-y-rpm-en-el-torno/5>

## ANEXOS

### ANEXOS A: TABLAS DE PROPIEDADES DE MATERIALES

Tabla A.1. Características de diferentes aceros norma SAE [20].

UNS	SAE	Procesamiento	$S_{m\acute{a}x}$ , MPa (ksi)	$S_y$ , MPa (ksi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	220 (32)	25	50	111
		CD	470 (68)	370 (54)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	690 (91)	530 (77)	12	35	179
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Tabla A.2. Propiedades de algunos materiales para bandas planas y redondas (d es el diámetro, t es el espesor y w es el ancho) [20].

Material	Especificación	Tamaño, pulg	Diámetro mínimo de la polea, pulg	Tensión permisible por ancho unitario a 600 pies/min, lb <sub>f</sub> /pulg	Peso específico, lb <sub>f</sub> /pulg <sup>3</sup>	$\mu$
Cuero	1 capa	t = 11/64	3	30	0.035-0.054	0.4
		t = 13/64	3 1/2	33	0.035-0.054	0.4
	2 capas	t = 18/64	4 1/	41	0.035-0.054	0.4
		t = 20/64	6	50	0.035-0.054	0.4
		t = 23/64	9	60	0.035-0.054	0.4

$\mu$ : Coeficiente de fricción

Tabla A.3. Parámetros en el factor de la condición superficial [20].

Acabado superficial	Factor a	Exponente b
	S <sub>máx</sub> , MPa (ksi)	
Esmerilado	1.58 (1.34)	-0.085
Maquinado o laminado en frío	4.51 (2.70)	-0.265
Laminado en caliente	57.7 (14.4)	-0.718
Como sale de la forja	272.0 (39.9)	-0.995

Tabla A.4. Tamaño de roscas Cuadradas y ACME.

Tamaño		Rosca cuadrada			Rosca ACME		
Pulg	cm	Hilos por pulg	Diámetro menor		Hilos por pulg	Diámetro menor	
			pulg	mm		Pulg	mm
0.25	0.635	10	0.163	4.140	16	0.188	4.775
0.3125	0.793	10	0.163	4.140	4	0.241	6.121
0.375	0.952	8	0.266	6.756	12	0.292	7.417
0.4375	1.111	8	0.266	9.296	12	0.354	8.763
0.5	1.270	6.5	0.366	11.836	10	0.400	10.160
0.625	1.547	5.5	0.466	14.605	8	0.500	12.700
0.75	1.905	4.5	0.575	17.297	6	0.583	14.808
0.875	2.222	4	0.681	19.837	6	0.708	17.983
1	2.540	4	0.781	19.837	5	0.800	20.320
1 1/8	2.857	3.5	0.781	25.400	5	0.925	23.495
1 1/4	3.175	3.5	1.000	25.400	5	1.050	26.670
1 3/8	3.592	3	1.000	30.683	4	1.125	28.575
1 1/2	3.810	2.5	1.208	35.560	4	1.250	31.750
1 3/4	4.445	2.25	1.400	40.945	4	1.500	38.100
2	5.080	2.25	1.612	47.295	4	1.750	44.450
2 1/4	5.715	2	1.862	52.400	3	1.917	48.692
2 1/2	6.350	2	2.063	58.750	3	2.167	55.042
2 3/4	6.985	1.25	2.313	63.500	3	2.417	61.392
3	7.620	1.625	2.500	58.750	2	2.500	63.500
3 1/2	8.890	1.5	2.962	63.500	2	3.000	76.200
4	10.60	1.25	3.418	86.817	2	3.500	88.900
4 1/2	11.430	1.5	3.418	86.817	2	4.000	101.60
5	12.700	1.25	3.418	86.817	2	4.500	114.30

Tabla A.5. Recomendaciones de vida de cojinetes [20].

Tipo de aplicación	Vida, kh
Instrumentos y aparatos de uso poco frecuentes	Hasta 0.5
Motores de aeronaves	0.5 - 2.0
Máquinas de operación corta o intermitente, donde la interrupción del servicio resulta de poca importancia	4 - 8
Máquinas de servicio intermitente donde una operación confiable es de gran importancia	8 - 14
Máquinas para servicio de 8 h, que no siempre se usan	14 - 20
Máquinas para servicio de 8 h, que se usan plenamente	20 - 30
Máquinas para servicio continuo las 24 h	50 - 60
Máquinas para un servicio continuo las 24 h, donde la confiabilidad es de suma importancia	100 - 200

Tabla A.6. Datos para la selección de rodamientos.

Dimensiones nominales del rodamiento					Diámetro preferido		Peso del rodamiento	Capacidad de carga estática	Capacidad de carga dinámica
<i>D</i>		<i>B</i>		<i>r</i>	Eje	Caja			
mm	pulg	mm	pulg	pulg	pulg	pulg	lb	lb	lb
47	1.8504	14	0.5512	0.039	0.969	1.614	0.23	1400	2210
52	2.0472	15	0.5906	0.039	1.172	1.811	0.29	1610	2430
62	2.4409	16	0.6299	0.039	1.406	2.205	0.44	2320	3350
72	2.8346	17	0.6693	0.039	1.614	2.559	0.64	3150	4450

## ANEXOS B: ANEXOS B: CÓDIGO A UTILIZAR PARA EL CONTROL MEDIANTE ARDUINO

```
// UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
// FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
// ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
// TRABAJO DE GRADUACION
//
// PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMATICA DE SOLDADURA
MIG MAG
// PARA ASISTIR EL PROCESO DE SOLDADURA DE RECIPIENTES A PRESION

// DEFINICION DE VARIABLES DE PROCESO
#include <Servo.h>

Servo servo1;

int PUL1 = 2;
int PUL2 = 6;
int PUL3 = 7;
int RELE1 = 12;
int RELE2 = 13;
int RELE3 = 11;
int PINSERVO = 3;
int PULSOMIN = 1000;
int PULSOMAX = 2000;

#define STEP 4
#define DIR 5

void setup() {
// ASIGNACION DE PINES
pinMode(PUL1, INPUT);
pinMode(PUL2, INPUT);
pinMode(PUL3, INPUT);
pinMode(RELE1, OUTPUT);
pinMode(RELE2, OUTPUT);
pinMode(RELE3, OUTPUT);
pinMode(STEP, OUTPUT);
pinMode(DIR, OUTPUT);
servo1.attach(PINSERVO, PULSOMIN, PULSOMAX);
}

void loop() {

digitalWrite(RELE1, LOW);
digitalWrite(RELE2, LOW);
```

```

digitalWrite(RELE3, LOW);

while(digitalRead(PUL3) == LOW){

digitalWrite(RELE1, LOW);
digitalWrite(RELE2, HIGH);
digitalWrite(RELE3, LOW);

while(digitalRead(PUL1) == LOW){
}
digitalWrite(DIR, HIGH);
for(int i=0; i<768; i++){
digitalWrite(STEP, HIGH);
delay(10);
digitalWrite(STEP, LOW);
delay(10);

servo1.write(0);
delay(115);
servo1.write(90);
delay(115);
}
}

digitalWrite(RELE2, LOW);
while(digitalRead(PUL2) == LOW){
}
digitalWrite(RELE1, HIGH);
digitalWrite(RELE2, LOW);
digitalWrite(RELE3, HIGH);

digitalWrite(DIR, LOW);
for(int i=0; i<3800; i++){
digitalWrite(STEP, HIGH);
delay(7);
digitalWrite(STEP, LOW);
delay(7);

servo1.write(0);
delay(20);
servo1.write(90);
delay(20);
}
delay(5000);
digitalWrite(RELE2, HIGH);
digitalWrite(RELE3, HIGH);
}

```

## ANEXOS C: CONEXIONES DE ARDUINO UNO

### ✓ Conexiones a Arduino

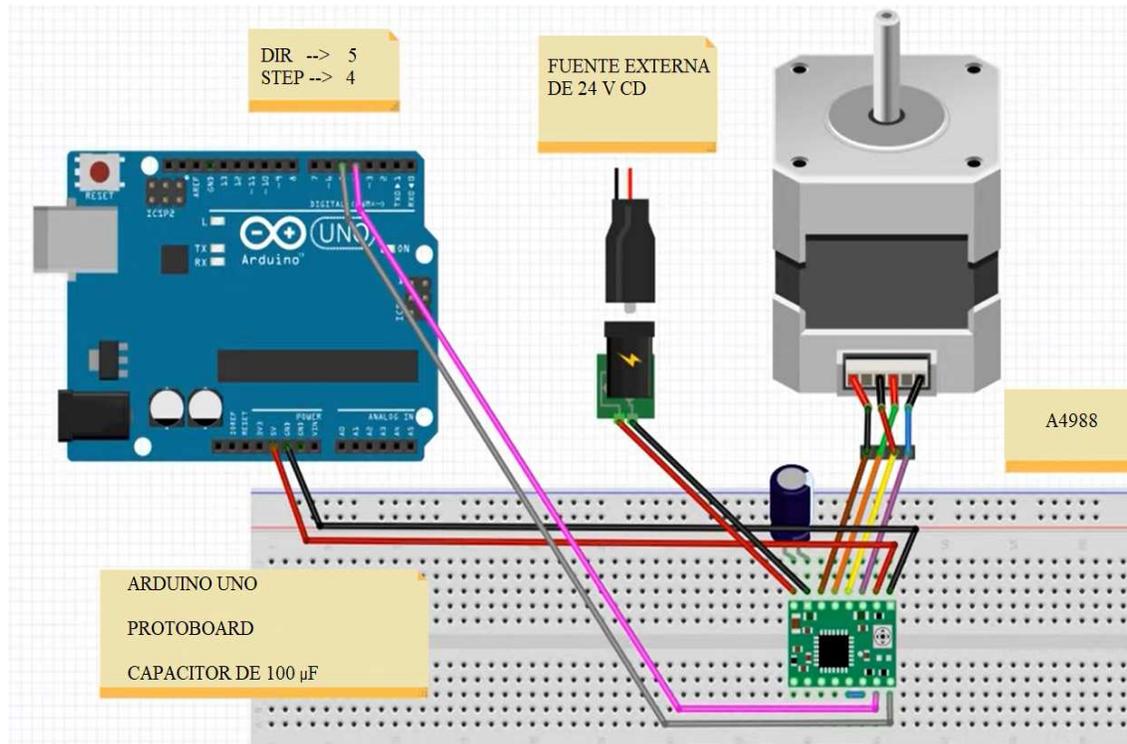


Fig. C.1. Conexión motor paso a paso y A4988 a Arduino Uno.

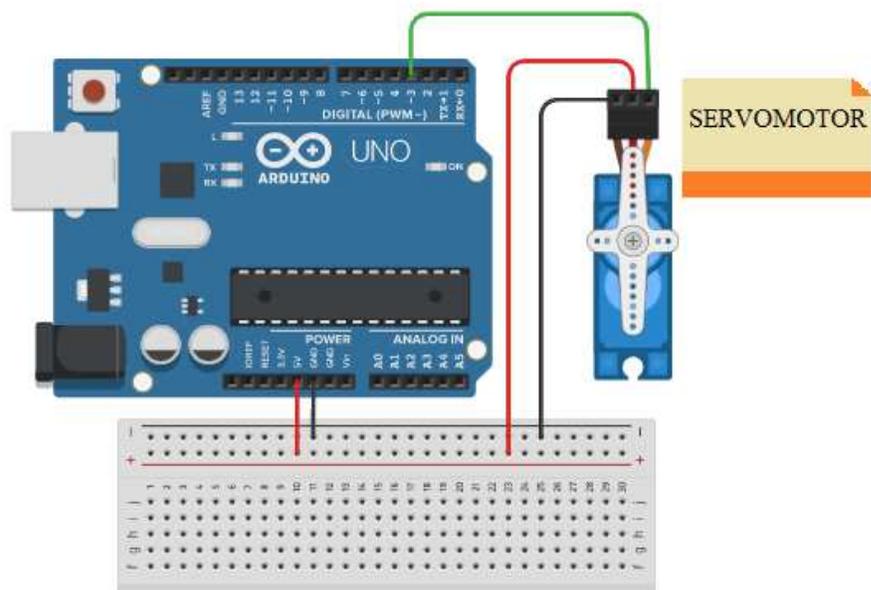


Fig. C.2. Conexión servo motor a Arduino Uno

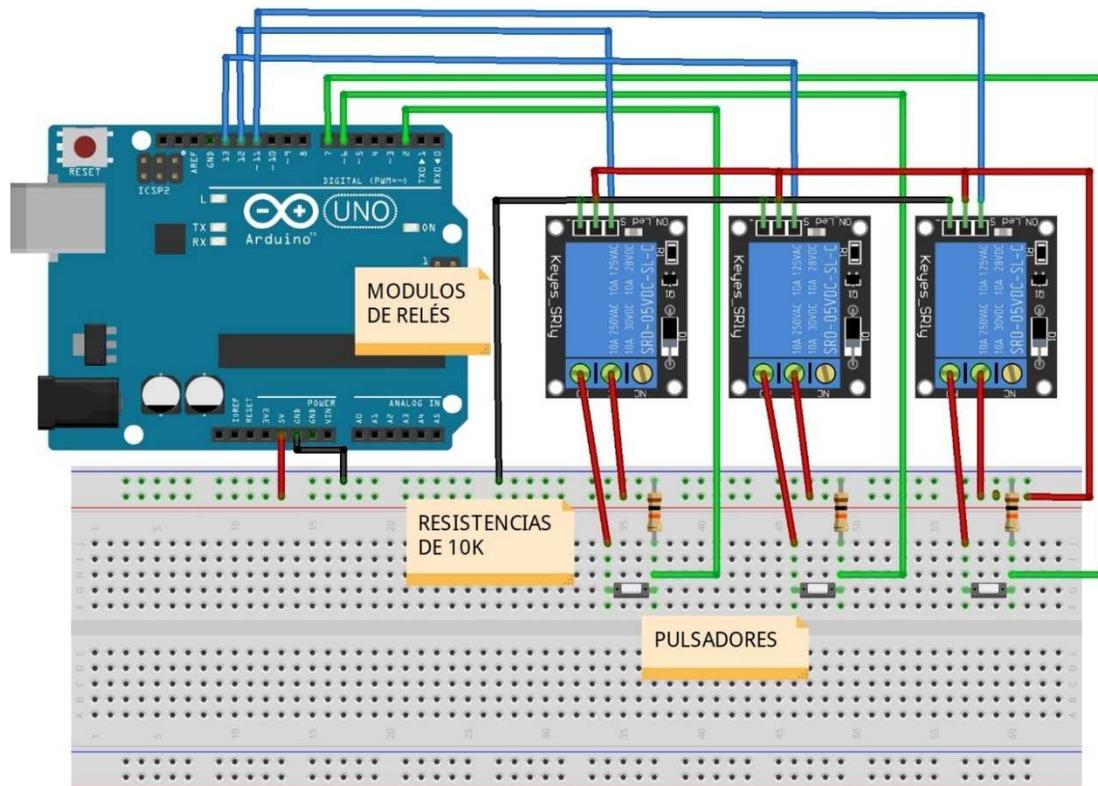


Fig. C.3. Conexión de relés y pulsadores con Arduino Uno

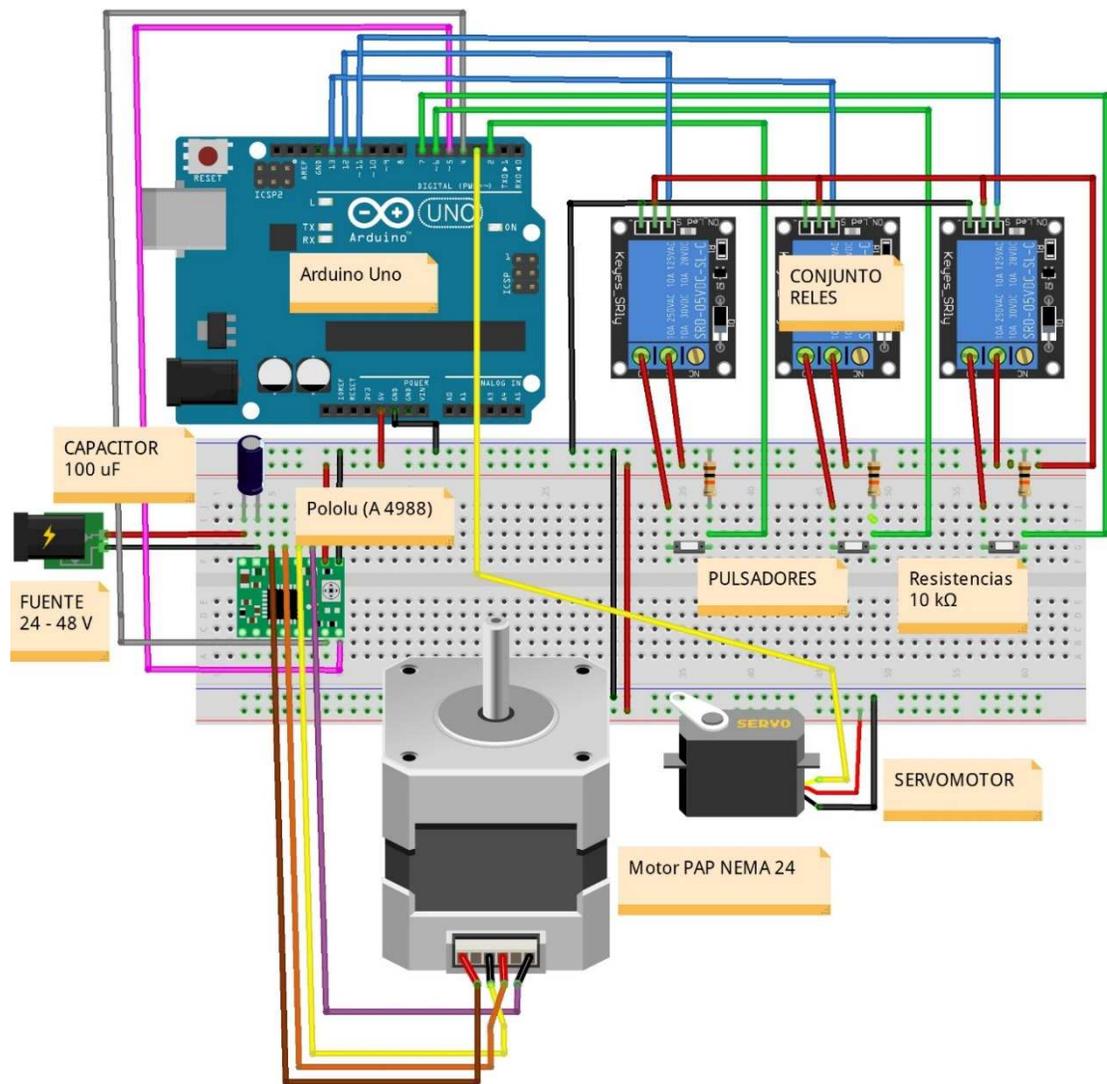


Fig. C.4. Conexión total del circuito de control de Arduino.

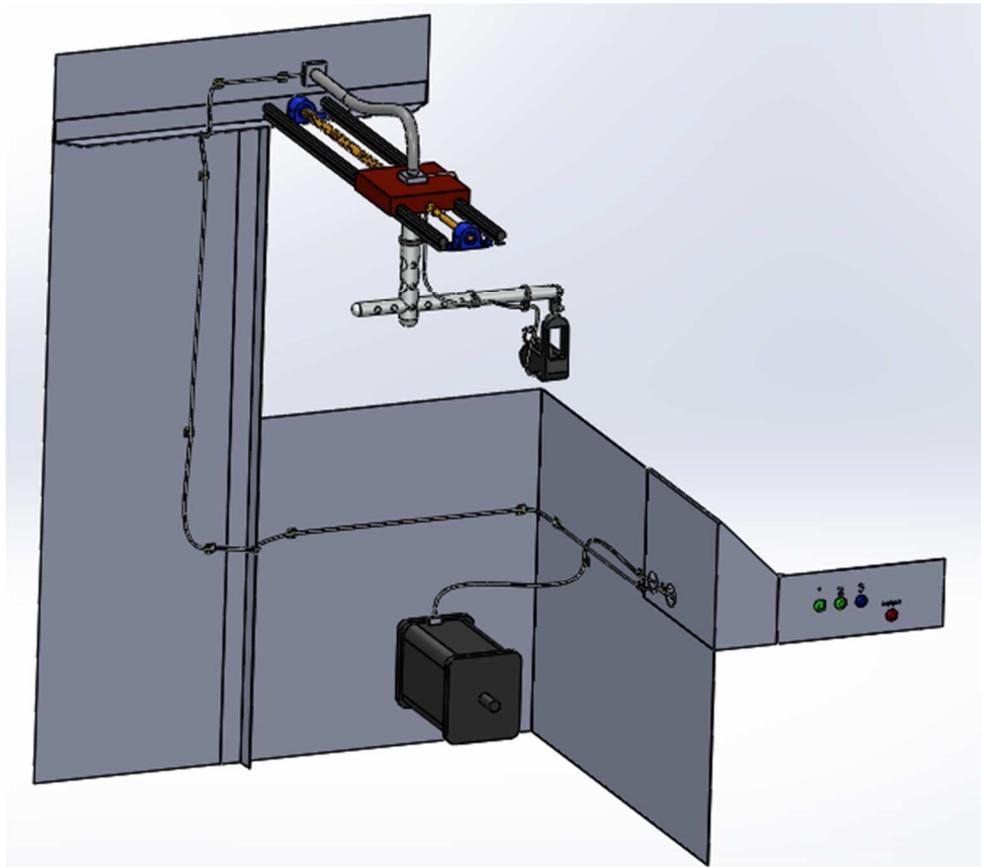


Fig. C5. Vista general de conexiones en la máquina.

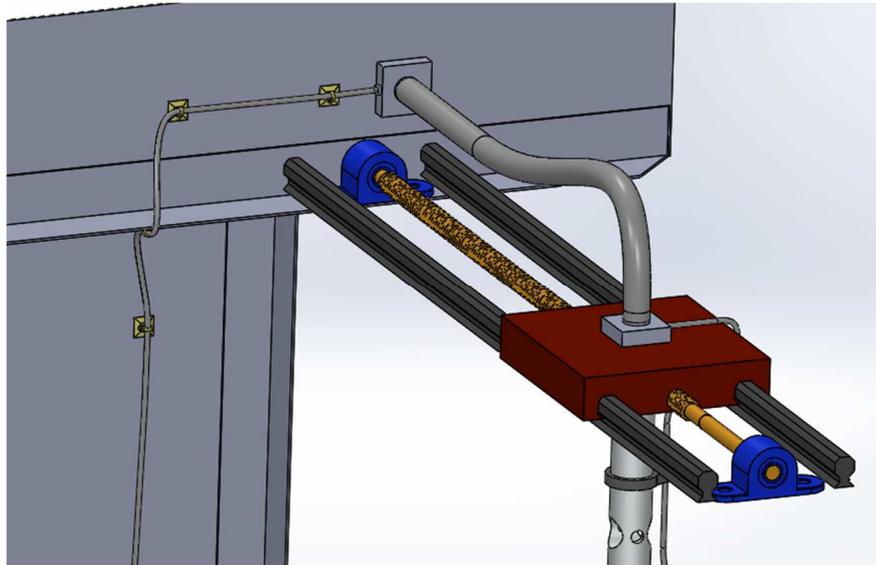


Fig. C6. Conexión a carrito

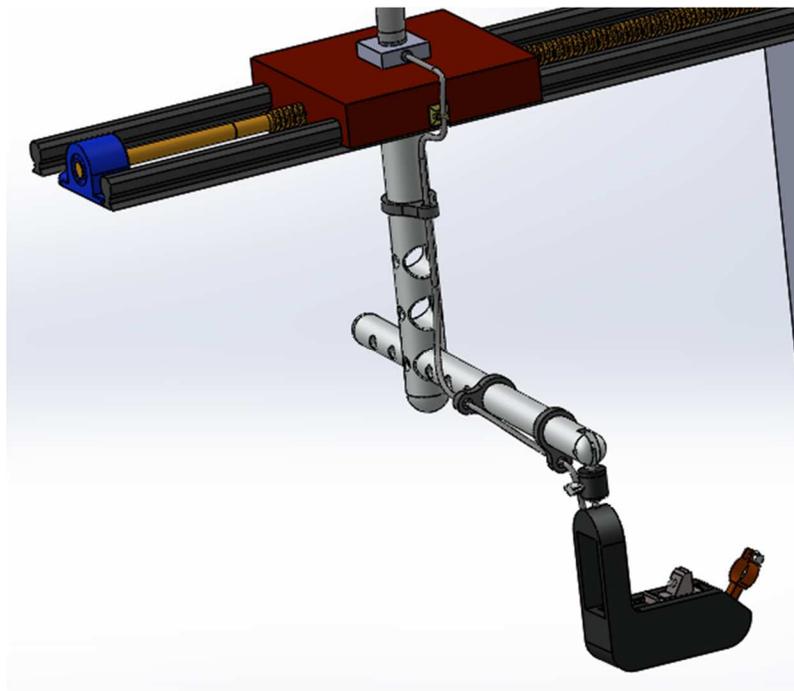


Fig. C7. Conexión a porta antorcha

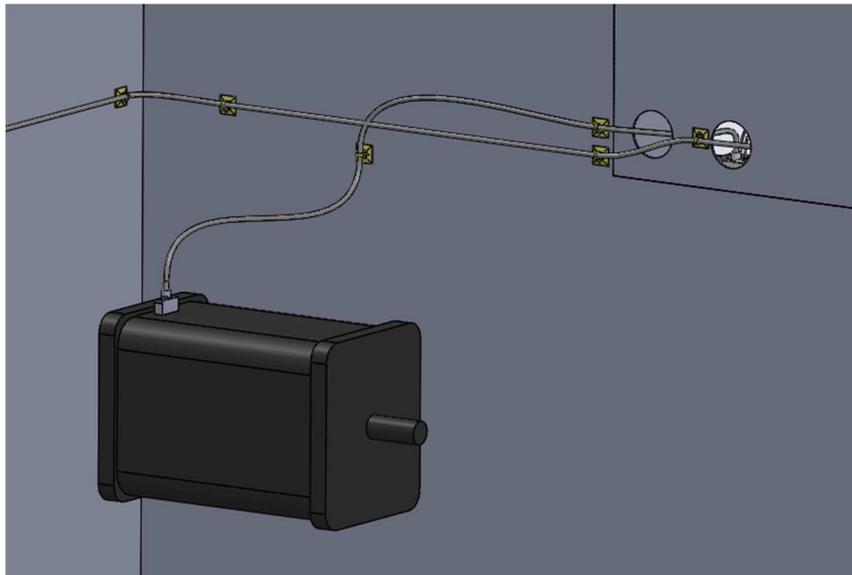


Fig. C8 Conexión a motor PAP NEMA 24



Fig. C9. Mando de control

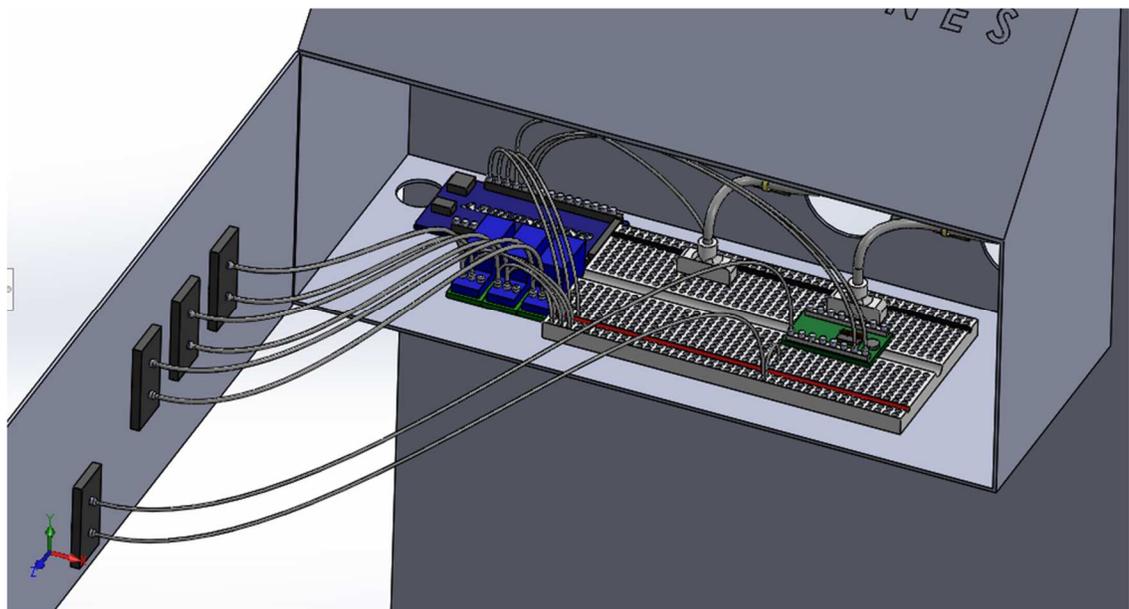
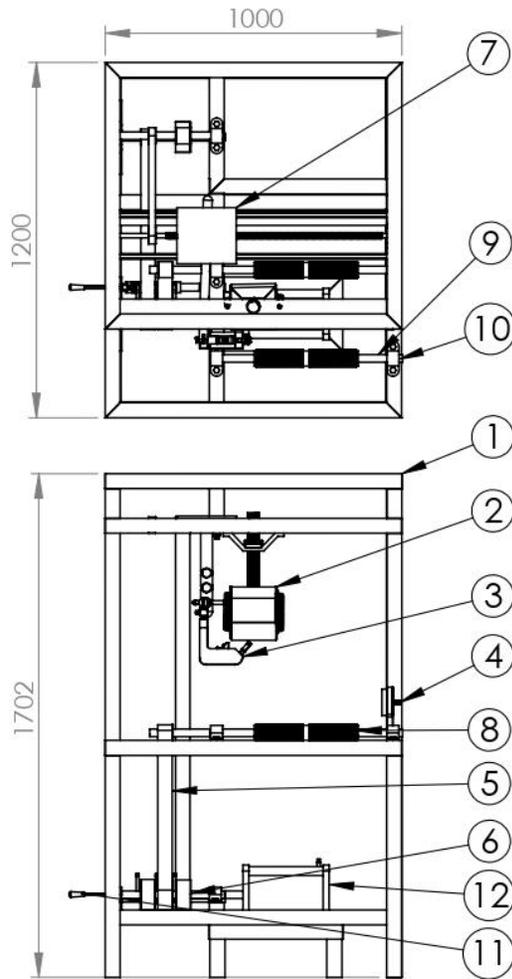
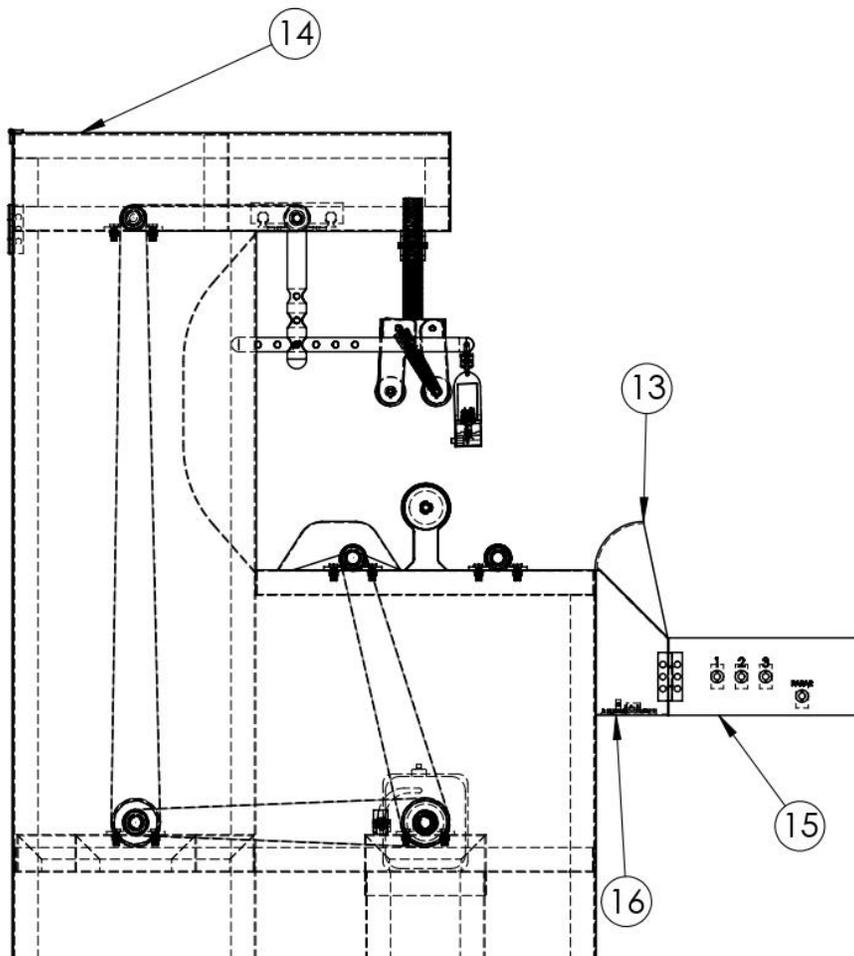


Fig. C10. Conexiones sistemas de control de Arduino

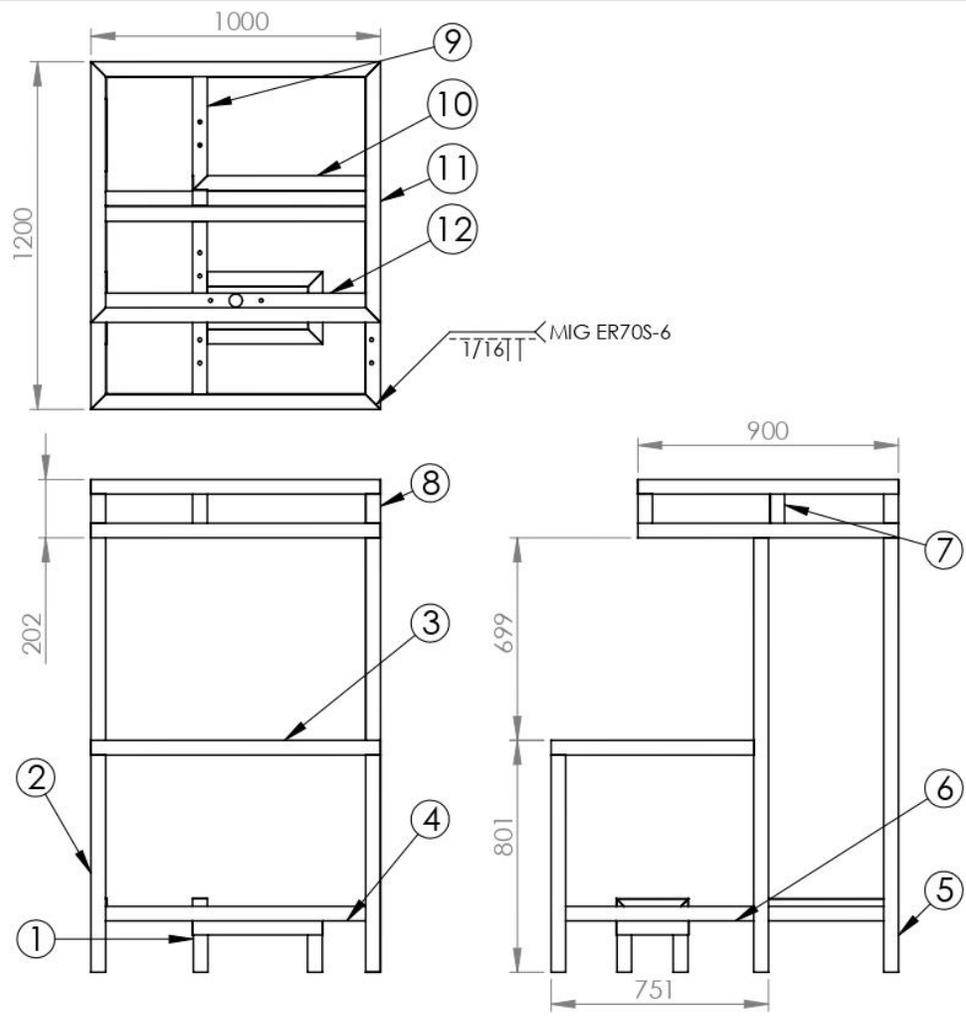
**ANEXOS D: PLANOS MECÁNICOS**



12	Motor PAP	1		NEMA 24
11	Sistema de cambio manual	1	SAE 1008	Subconjunto 6
10	Chumaseras	12	Hierro fundido	Chumaseras número 6205
9	Ejes	5	AISI 1045, Ø31.75x3000	Detalle 1.3
8	Rodillos	2	Aluminio, Ø50.8x350	Detalle 1.2
7	Sistema de transporte aereo	1	Aluminio serie 3000	Subconjunto 5
6	Poleas	9	Aluminio serie 3000	Detalle 1.1
5	Sistema de bandas	3	Cuero	Bandas planas
4	Polo magnético	1		Subconjunto 4
3	Brazo Porta-antorcha	1	Aluminio serie 3000	Subconjunto 3
2	Seguro aereo	1	SAE 1008, ASTM A572	Subconjunto 2
1	Estructura general	1	ASTM A572	Subconjunto 1
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL Y DIM EN BRUTO	ESPECIFICACIONES
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:25
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa		UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: A1	FECHA: 10/11/2021	CONJUNTO 1: MAQUINA SEMIAUTOMATICA DE SOLDADURA MIG/MAG PARA RECIPIENTES A PRESIÓN		

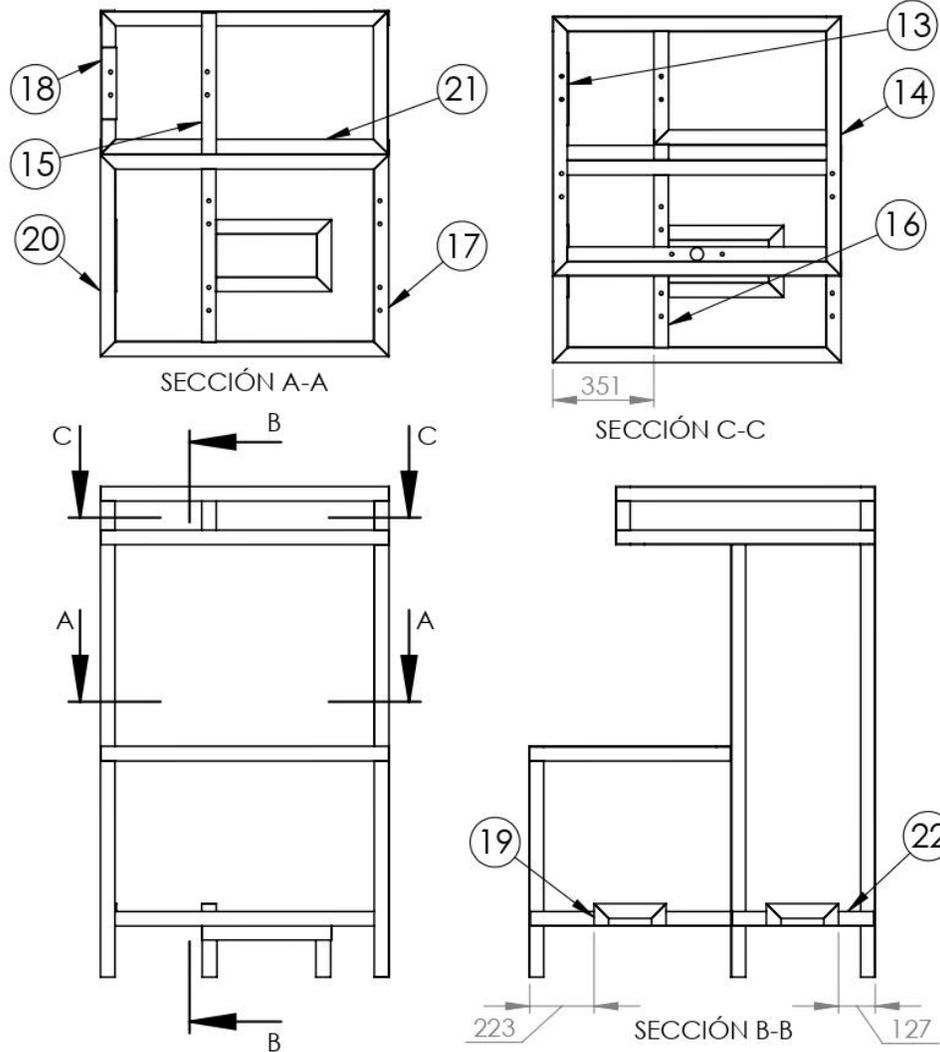


14	Portector de mando electrico	1	ASTM 572, 400x300	Detalle 1.7
15	Cubierta de mando	1	ASTM A572, 400x160	Detalle 1.6
14	Lamina Lisa	7	ASTM A572, 1220x2440	Detalle 1.5
13	Protector de mando	1	Vidrio templado	Detalle 1.4
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión		ESCALA: 1:15
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa		UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: A2	FECHA: 10/11/2021	CONJUNTO 1: CONTINUACIÓN		



12	PLETINA 1/8x2 pulg	1	ASTM A572, 898.4 mm	Detalle 2.2
11	Ángulo 1/8x2 pulg	2	ASTM A572, 900 mm	Corte de 45°, Soldadura a tope
10	PLETINA 1/8x2 pulg	1	ASTM A572, 598.4 mm	Corte recto+45°, Soldadura a tope
9	PLETINA 1/8x2 pulg	1	ASTM A572, 393.4 mm	Detalle 2.1
8	Ángulo 1/8x2 pulg	4	ASTM A572, 100 mm	Corte recto, Soldadura a tope
7	Ángulo 1/8x2 pulg	1	ASTM A572, 196.8 mm	Corte recto, Soldadura a tope
6	Ángulo 1/8x2 pulg	2	ASTM A572, 700 mm	Corte recto+45°, Soldadura a tope
5	Ángulo 1/8x2 pulg	4	ASTM A572, 1500 mm	Corte recto, Soldadura a tope
4	Ángulo 1/8x2 pulg	2	ASTM A572, 995 mm	Corte de 45°, Soldadura a tope
3	Ángulo 1/8x2 pulg	6	ASTM A572, 1000 mm	Corte de 45°, Soldadura a tope
2	Ángulo 1/8x2 pulg	2	ASTM A572, 750 mm	Corte de 45°, Soldadura a tope
1	Soporte Motor PAP	1	ASTM A572	Sub Subconjunto 1

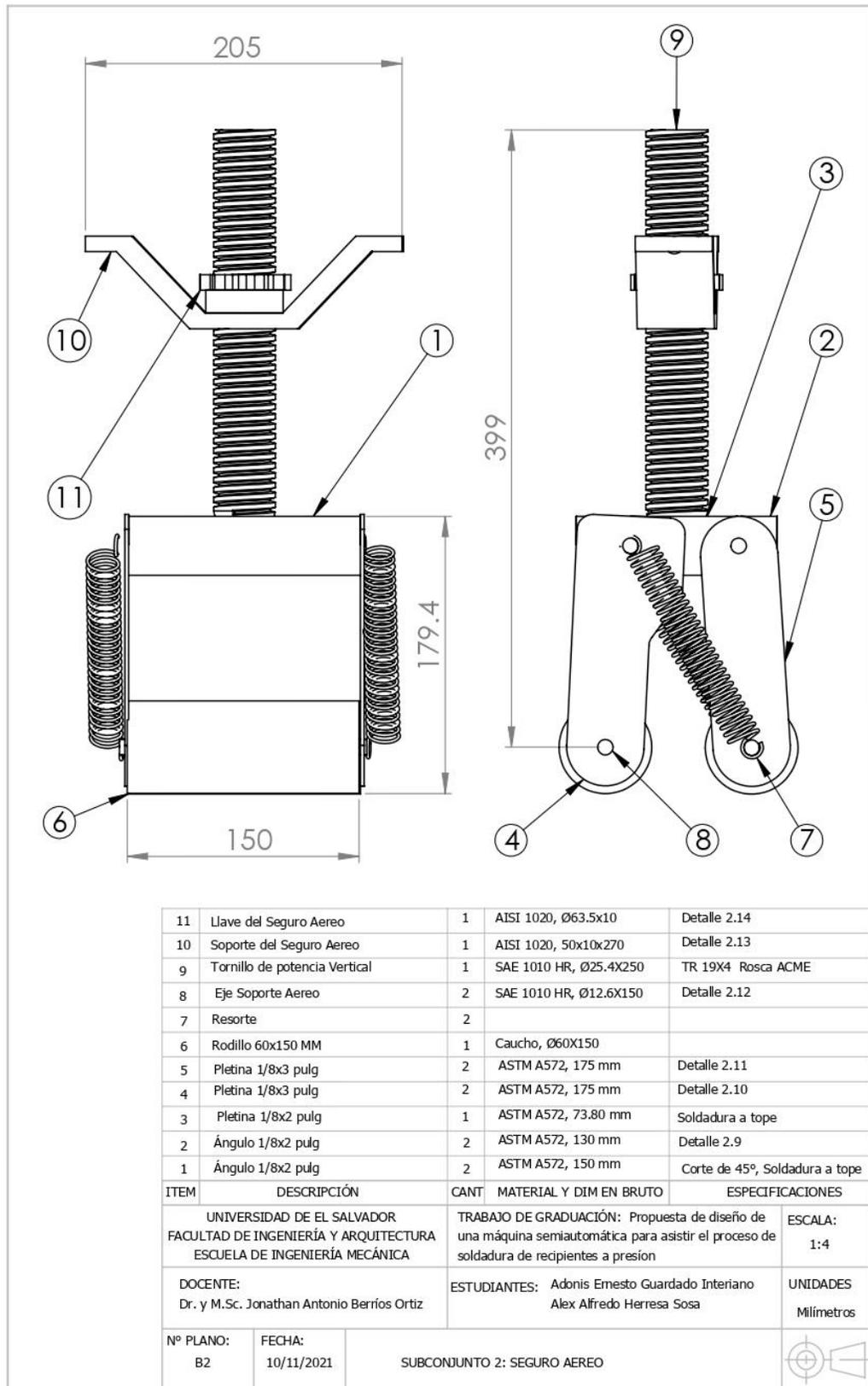
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL Y DIM EN BRUTO	ESPECIFICACIONES
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:25
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz			ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: B1	FECHA: 10/11/2021	SUBCONJUNTO 1: ESTRUCTURA GERENAL		

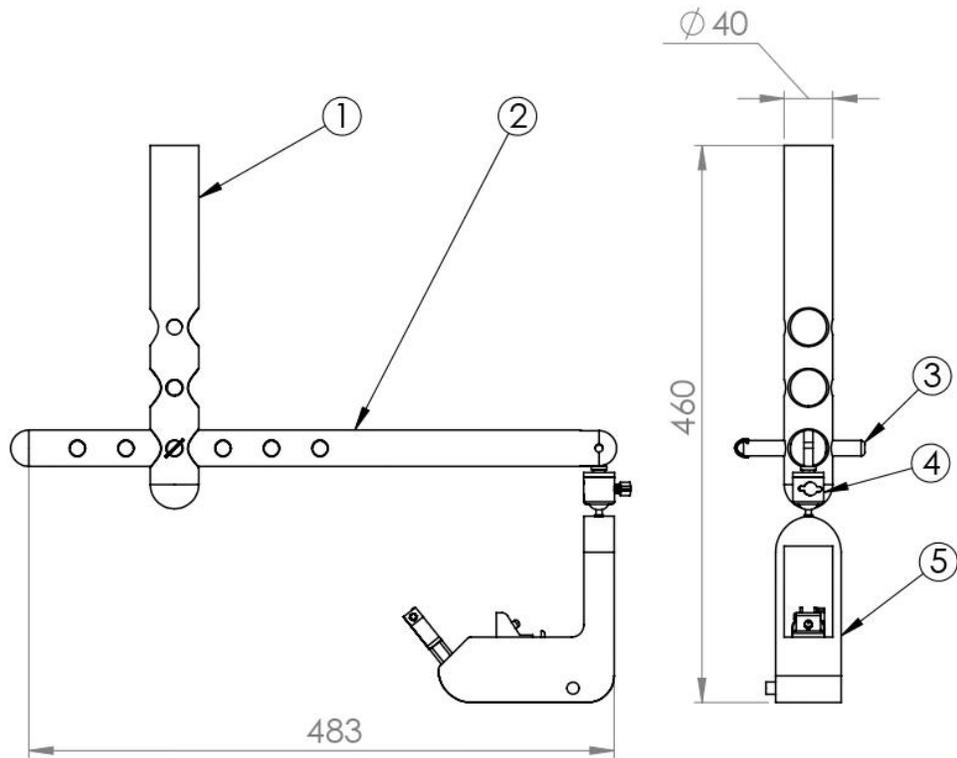


22	Ángulo 1/8x2 pulg	2	ASTM A572, 495 mm	Corte Recto+45°, Soldadura a tope
21	PLETINA 1/8x2 pulg	1	ASTM A572, 995 mm	Corte de 45°, Soldadura a tope
20	Ángulo 1/8x2 pulg	1	ASTM A572, 700 mm	Corte de 45°, Soldadura a tope
19	Ángulo 1/8x2 pulg	6	ASTM A572, 75 mm	Corte Recto+45°, Soldadura a tope
18	Ángulo 1/8x2 pulg	4	ASTM A572, 250 mm	Detalle 2.8
17	Ángulo 1/8x2 pulg	1	ASTM A572, 700 mm	Detalle 2.7
16	PLETINA 1/8x2 pulg	1	ASTM A572, 598.4 mm	Detalle 2.6
15	Ángulo 1/8x2 pulg	1	ASTM A572, 490 mm	Detalle 2.5
14	Ángulo 1/8x2 pulg	1	ASTM A572, 900 mm	Detalle 2.4
13	Ángulo 1/8x2 pulg	1	ASTM A572, 900 mm	Detalle 2.3

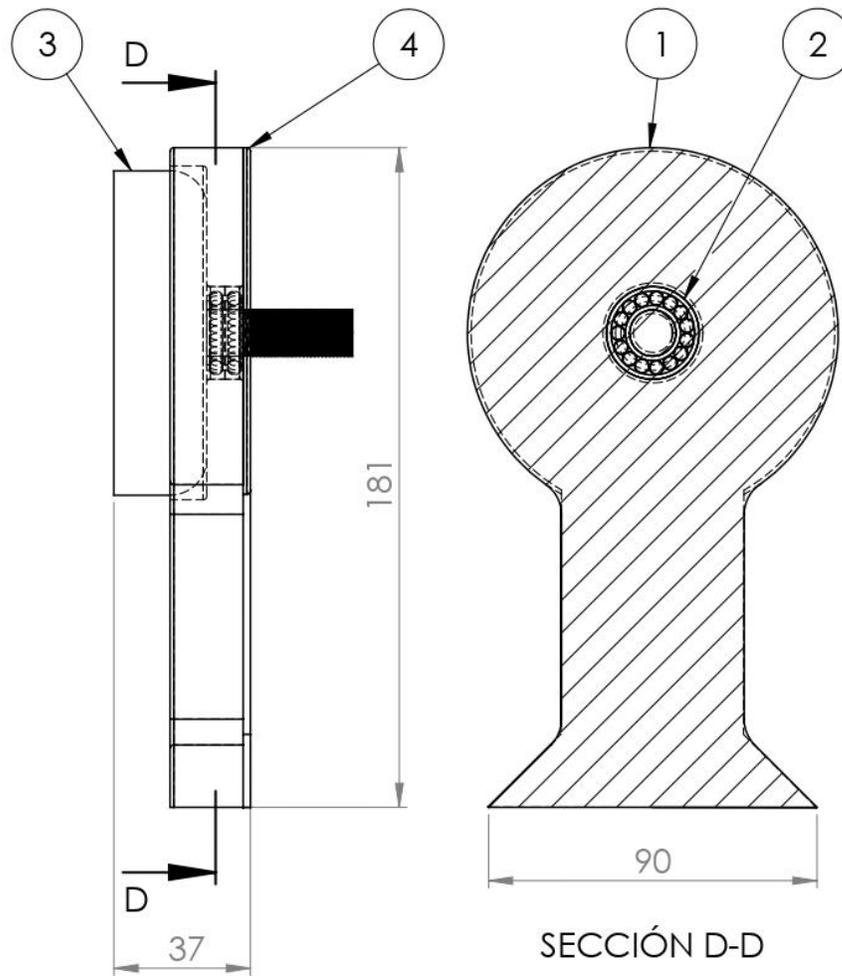
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL Y DIM EN BRUTO	ESPECIFICACIONES
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión		ESCALA: 1:25
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa		UNIDADES Milímetros

N° PLANO: B.1.1	FECHA: 10/11/2021	SUBCONJUNTO 1: CONTINUACIÓN	
--------------------	----------------------	-----------------------------	--

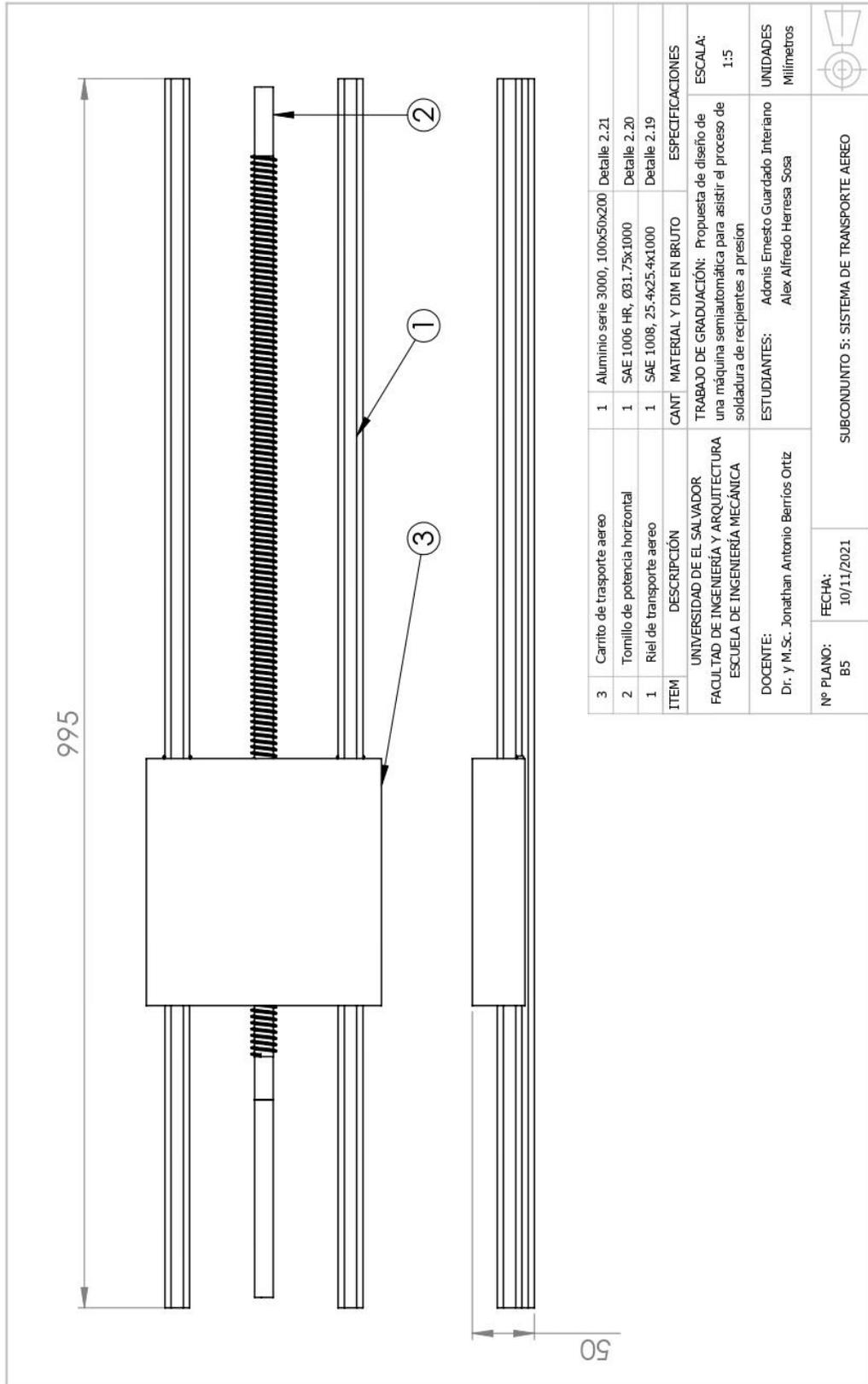


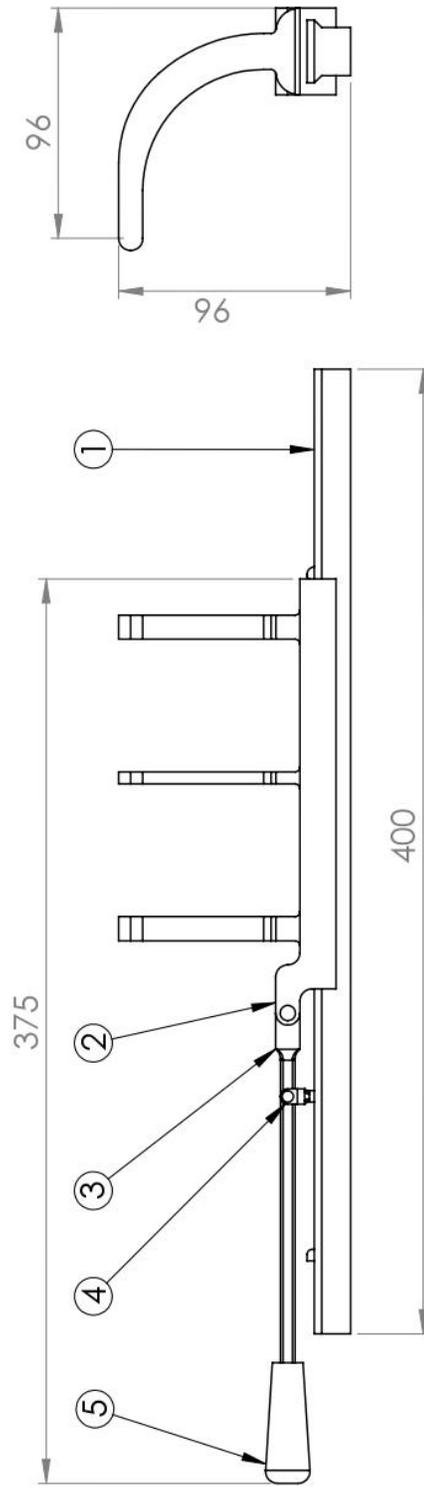


5	Porta antorcha	1	Aluminio serie 3000	Sub subconjunto 3
4	Regulador de posición	1	SAE 1008	Sub subconjunto 2
3	Seguro de extensión	1	SAE 1008, Ø6X97	
2	Extención de brazo porta antorcha	1	Aluminio serie 3000, Ø30x500	Detalle 2.16
1	Conector Sistema aereo-Brazo porta antorcha	1	Aluminio serie 3000, Ø40x300	Detalle 2.15
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL Y DIM EN BRUTO	ESPECIFICACIONES
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión		ESCALA:
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa		UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: B3	FECHA: 10/11/2021	SUBCONJUNTO 3: BRAZO PORTA-ANTORCHA		

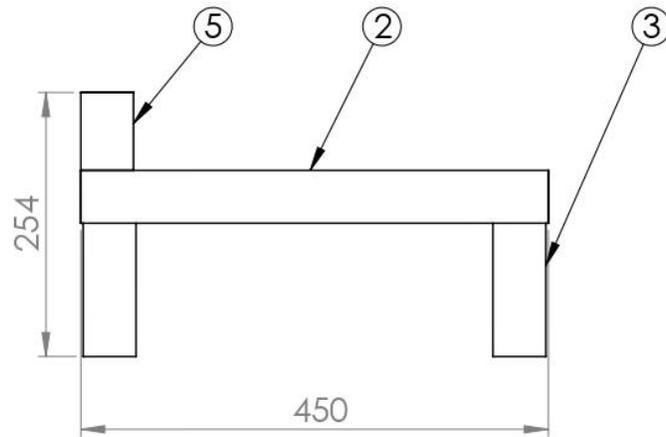
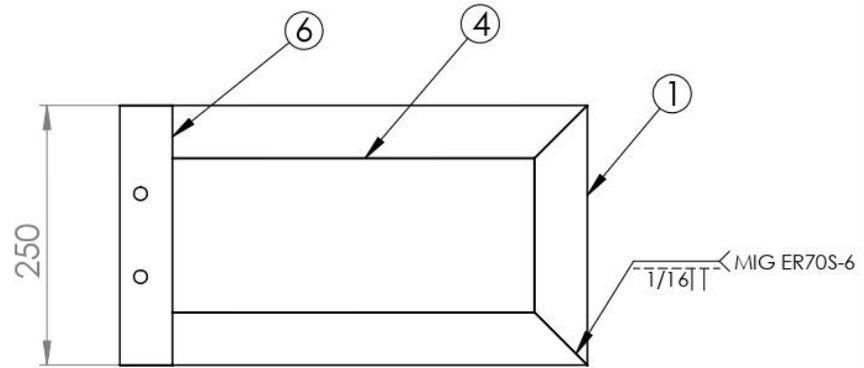


4	PLETINA 1/8x4 pulg	1	ASTM A572, 180.8 mm	Detalle 2.18
3	Polo Magnetico 250 A	1	Aluminio, 6.5x3.5x2.25 pulg	
2	Rodamiento de bola	2	Acero 100Cr6	
1	Base Polo magnetico	1	SAE 1008, 101.6x25.4x200	Detalle 2.17
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL Y DIM EN BRUTO	ESPECIFICACIONES
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:2
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz			ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: B4	FECHA: 10/11/2021	SUBCONJUNTO 4: POLO MAGNÉTICO		

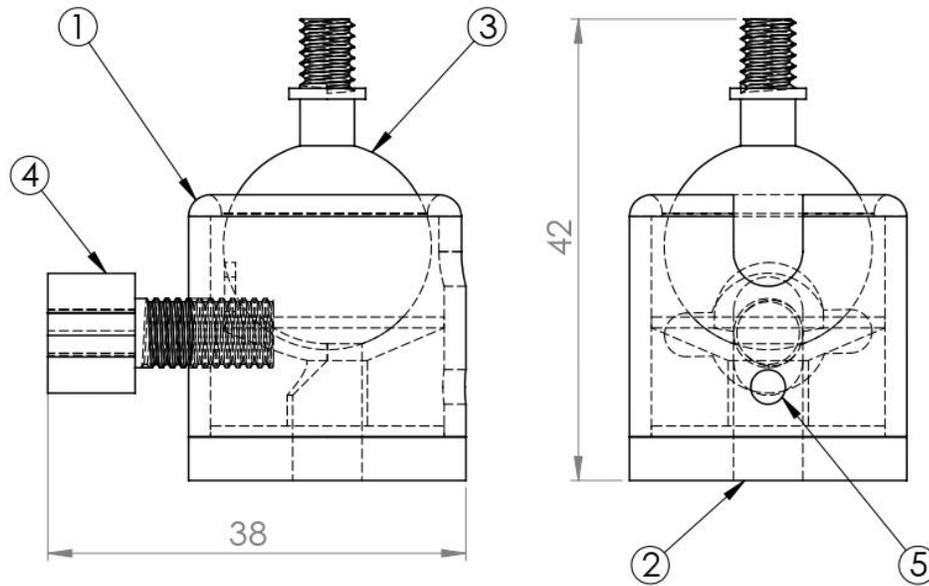




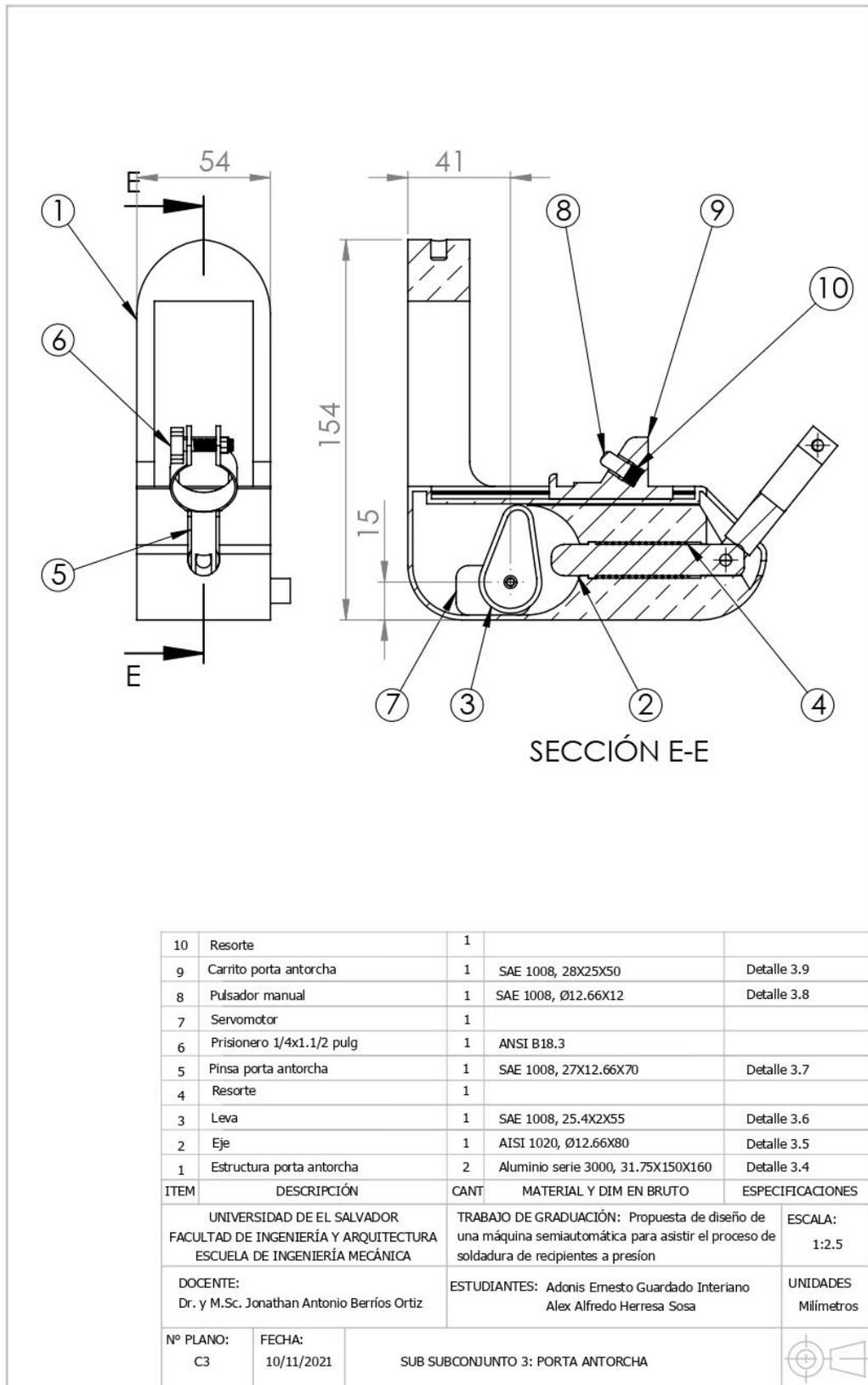
5	Mango	1	Goma	
4	Seguro de cambio manual	1	SAE 1008, 14x6.35x20	Detalle 2.25
3	Palanca de cambio manual	1	SAE 1008, 16x10x200	Detalle 2.24
2	Intercambiador de polea	1	SAE 1008, 38.1x25.4x200	Detalle 2.23
1	Riel de cambio manual	1	SAE 1008, 31.75x19.05x400	Detalle 2.22
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL Y DIM EN BRUTO	ESPECIFICACIONES
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
DOCENTE:		ESTUDIANTES:		
Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herrera Sosa		
Nº PLANO:	FECHA:	SUBCONJUNTO 6: SISTEMA DE CAMBIO MANUAL		
B6	10/11/2021			
UNIDADES Milímetros				

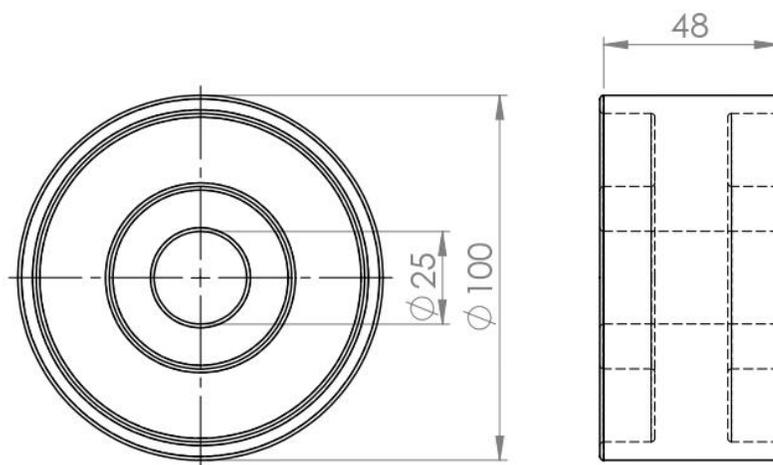


6	Ángulo 1/8x2 pulg	1	ASTM A572, 250 mm	Detalle 2.8
5	Ángulo 1/8x2 pulg	2	ASTM A572, 75 mm	Corte recto+45°, Soldadura a tope
4	PLETINA 1/8 pulg	1	ASTM A572, 348.4X148.4 mm	Soldadura a tope
3	Ángulo 1/8x2 pulg	4	ASTM A572, 177 mm	Corte recto, Soldadura a tope
2	Ángulo 1/8x2 pulg	2	ASTM A572, 450 mm	Corte de 45°, Soldadura a tope
1	Angulo 1/8x2 pulg	2	ASTM A572, 250 mm	Corte de 45°, Soldadura a tope
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT MATERIAL Y DIM EN BRUTO		ESPECIFICACIONES
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión		ESCALA: 1:7
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa		UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: C1	FECHA: 10/11/2021	SUB SUBCONJUNTO 1: SOPORTE MOTOR PAP		

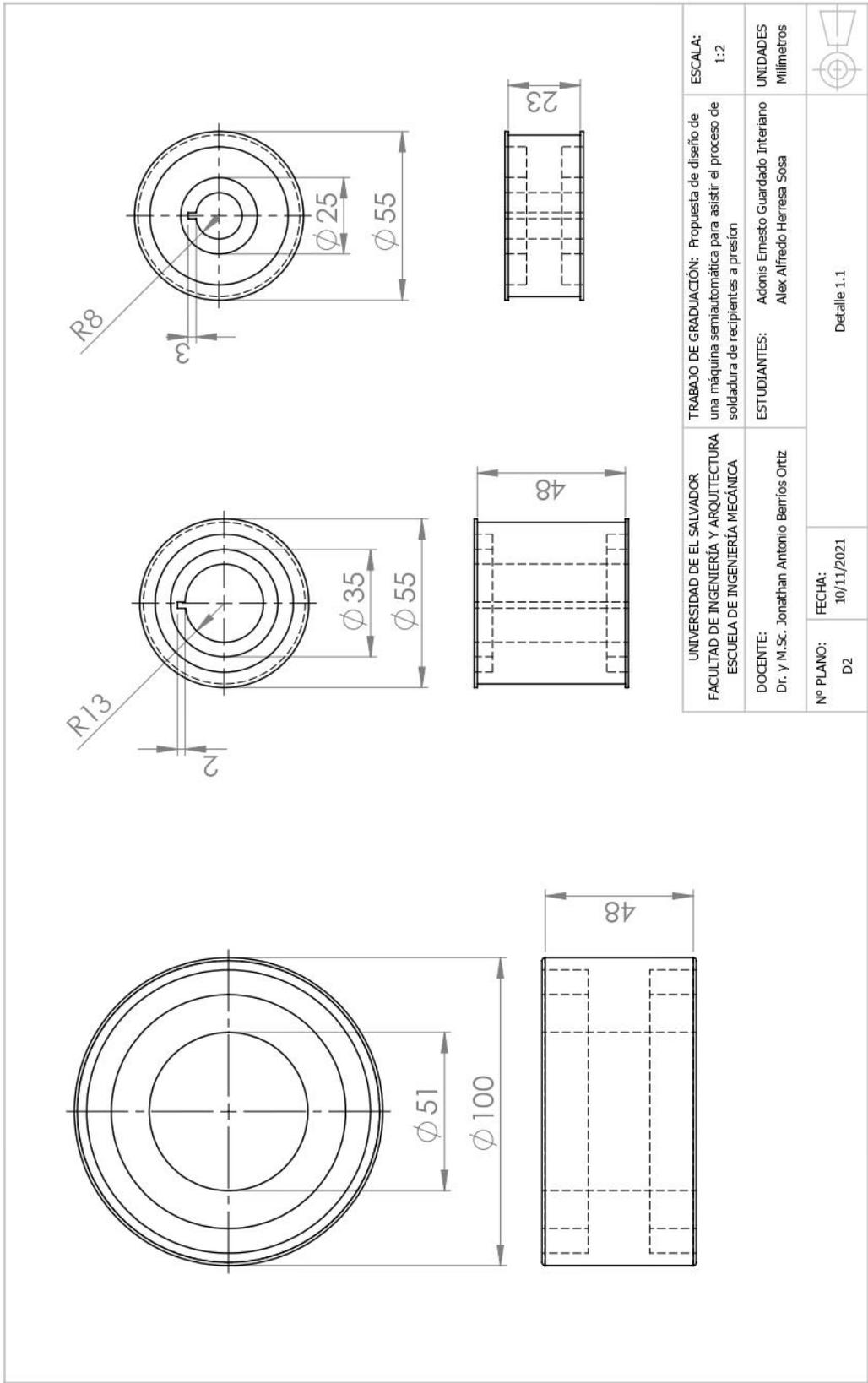


5	Prisionero Allen 1/8x1/4 pulg	1	ANSI B18.3	
4	Prisionero 1/4x1 pulg	1	ANSI B18.3	
3	Esfera reguladora	1	SAE 1008, Ø25.4x31.75	Detalle 3.3
2	Base esfera reguladora	1	SAE 1008, Ø25.4x25.4	Detalle 3.2
1	Base	1	SAE 1008, Ø25.4x25.4	Detalle 3.1
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL Y DIM EN BRUTO	ESPECIFICACIONES
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1.5:1
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz			ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: C2	FECHA: 10/11/2021	SUB SUBCONJUNTO 2: REGULADOR DE POSICIÓN		

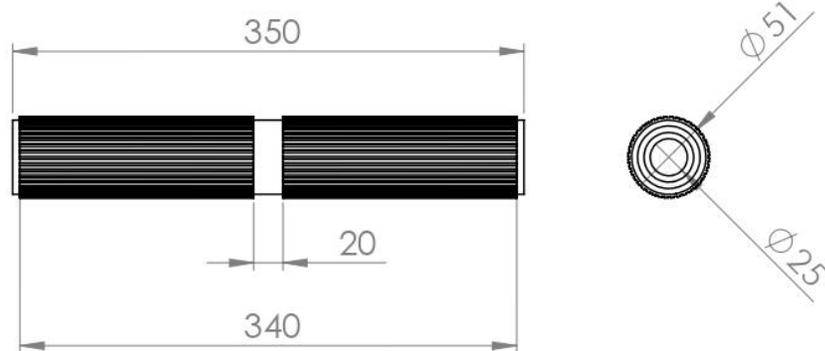




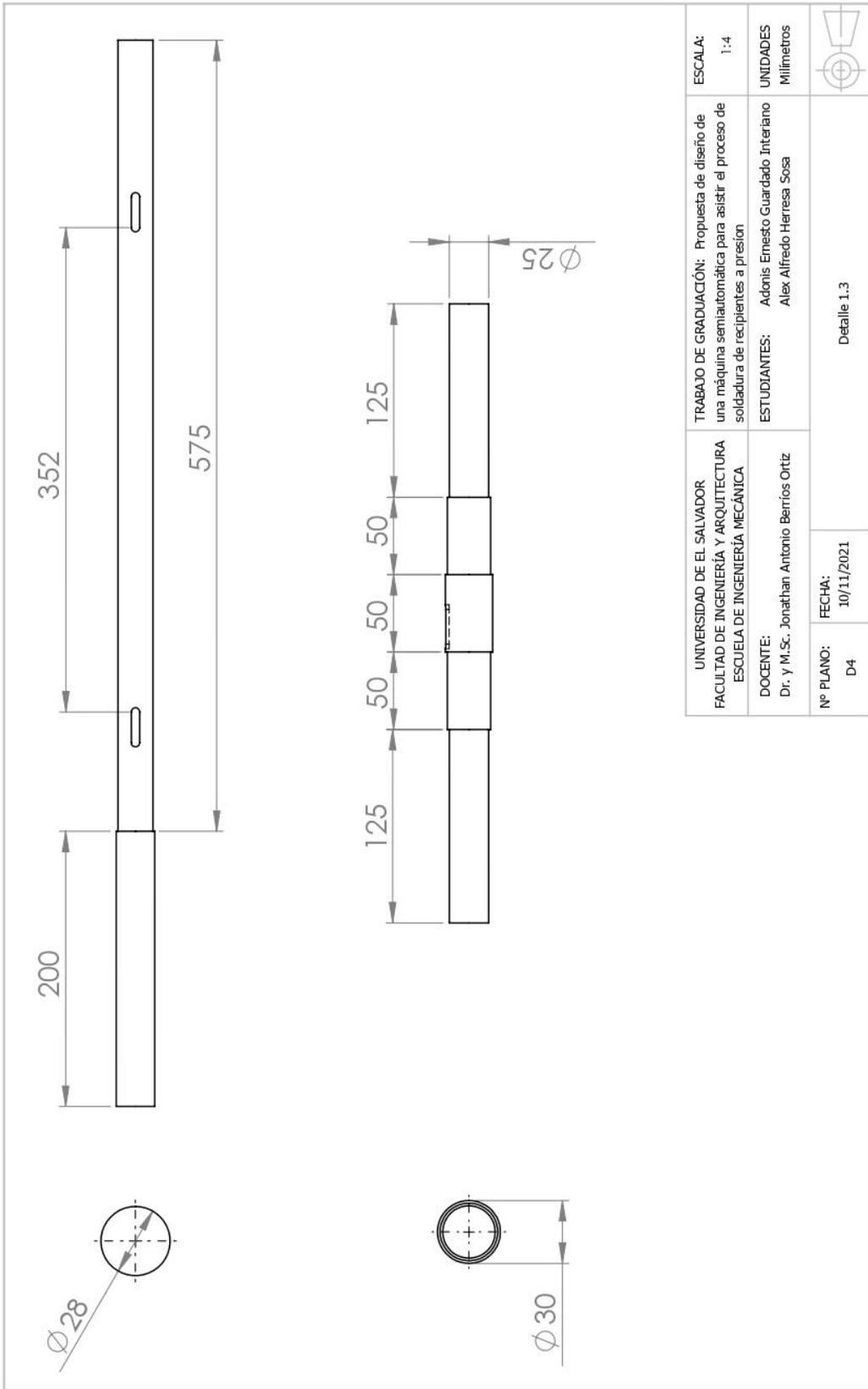
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:2
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D1	FECHA: 10/11/2021	Detalle 1.1	



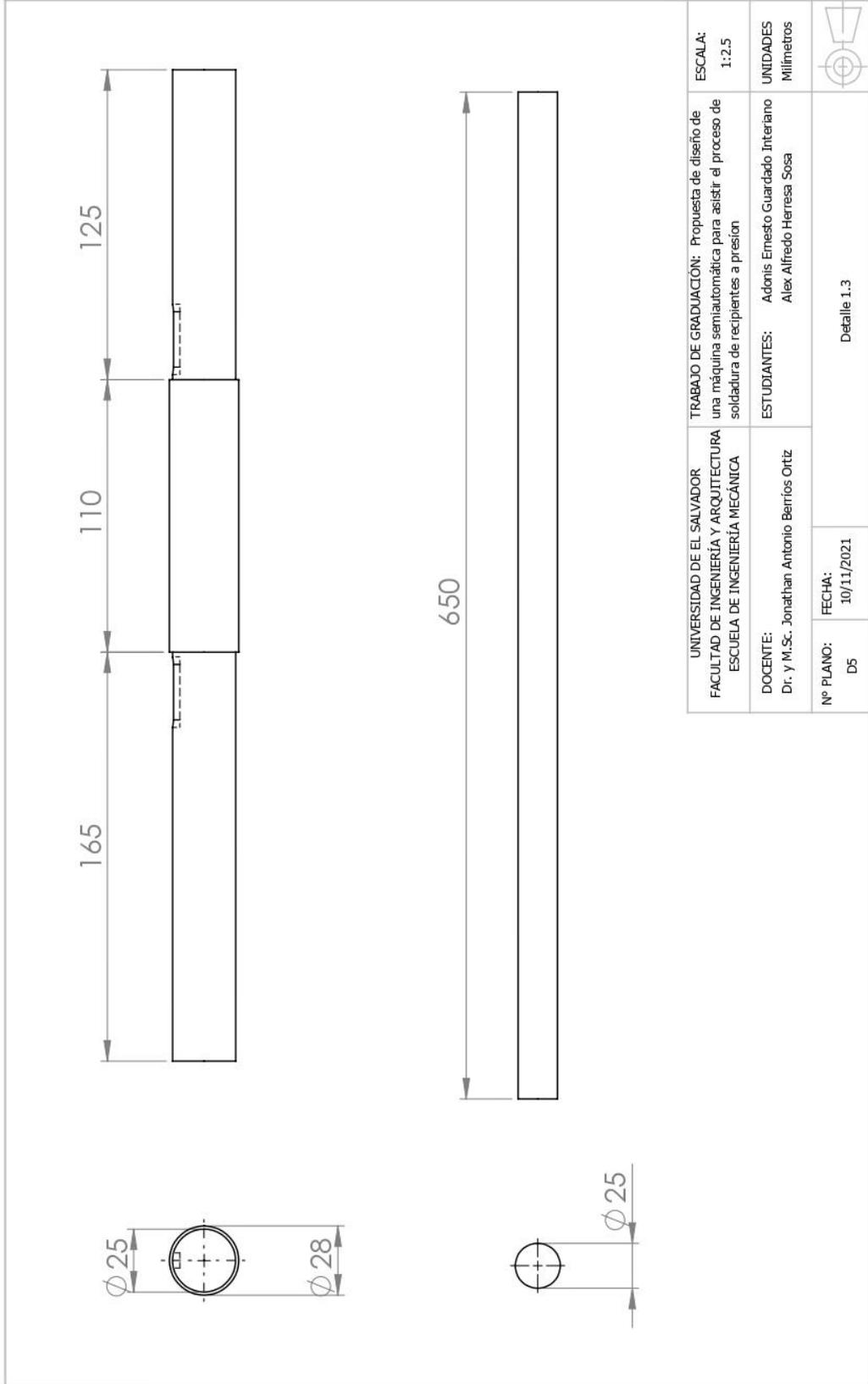
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:2
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz	ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herrera Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D2	FECHA: 10/11/2021	Detalle 1.1

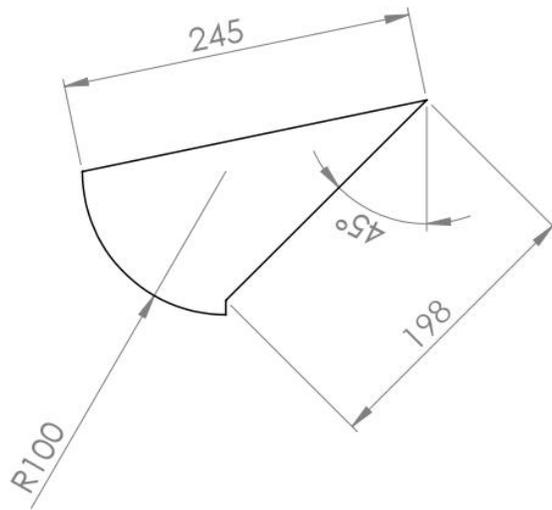
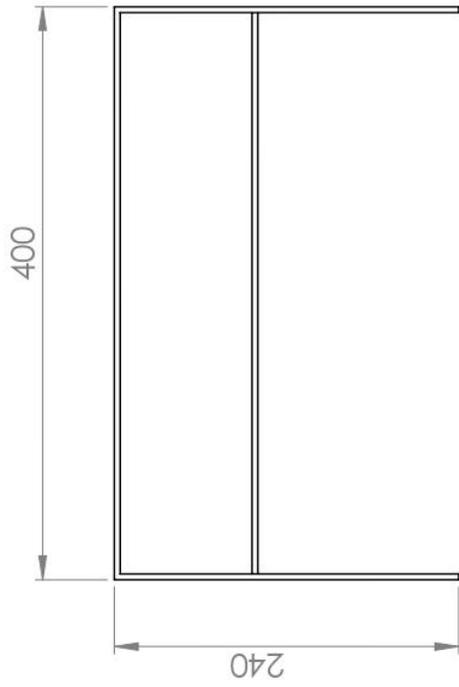


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:4
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D3	FECHA: 10/11/2021	DETALLE 1.2	

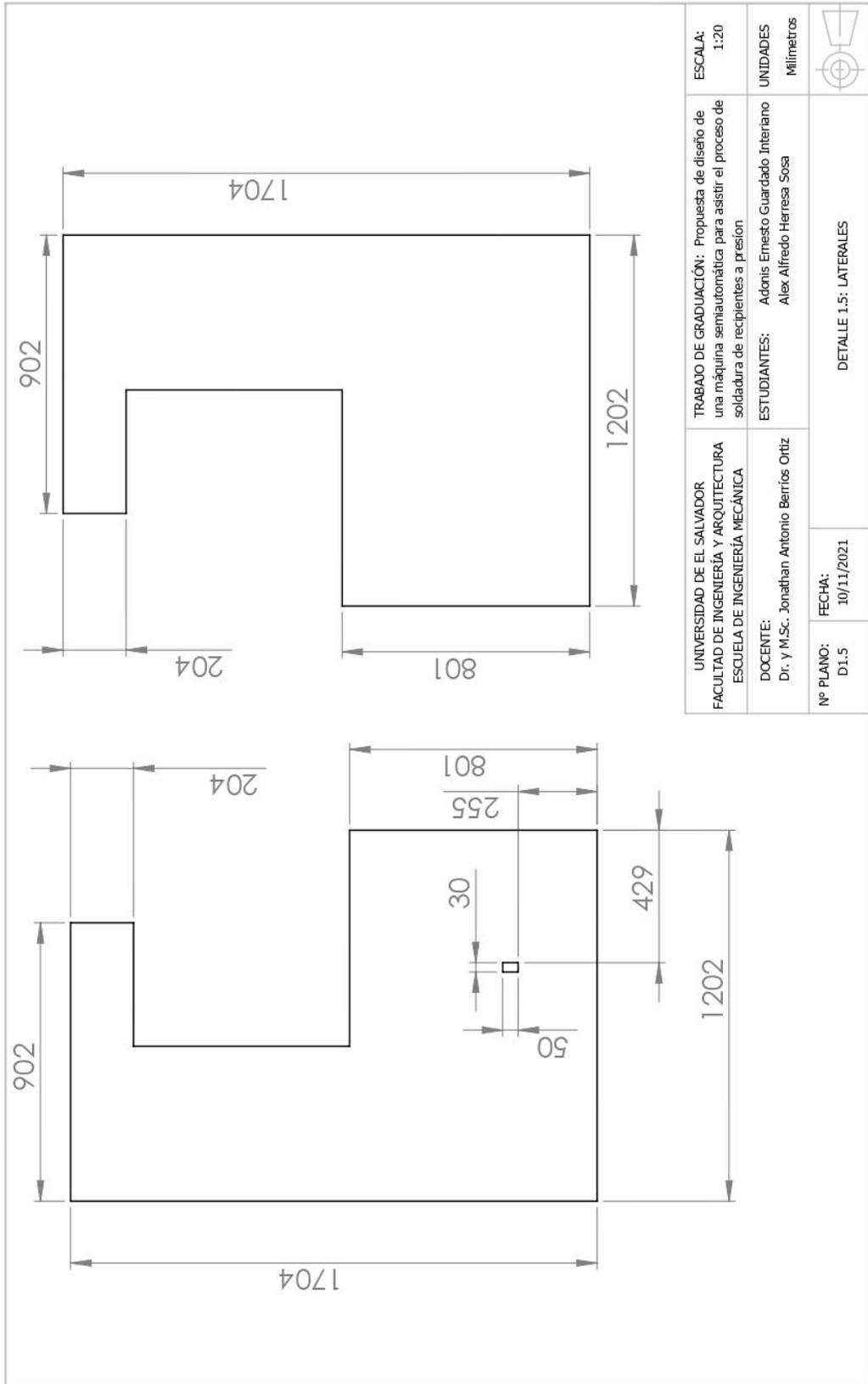


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:4
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz	ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herrera Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D4	FECHA: 10/11/2021	Detalle 1.3

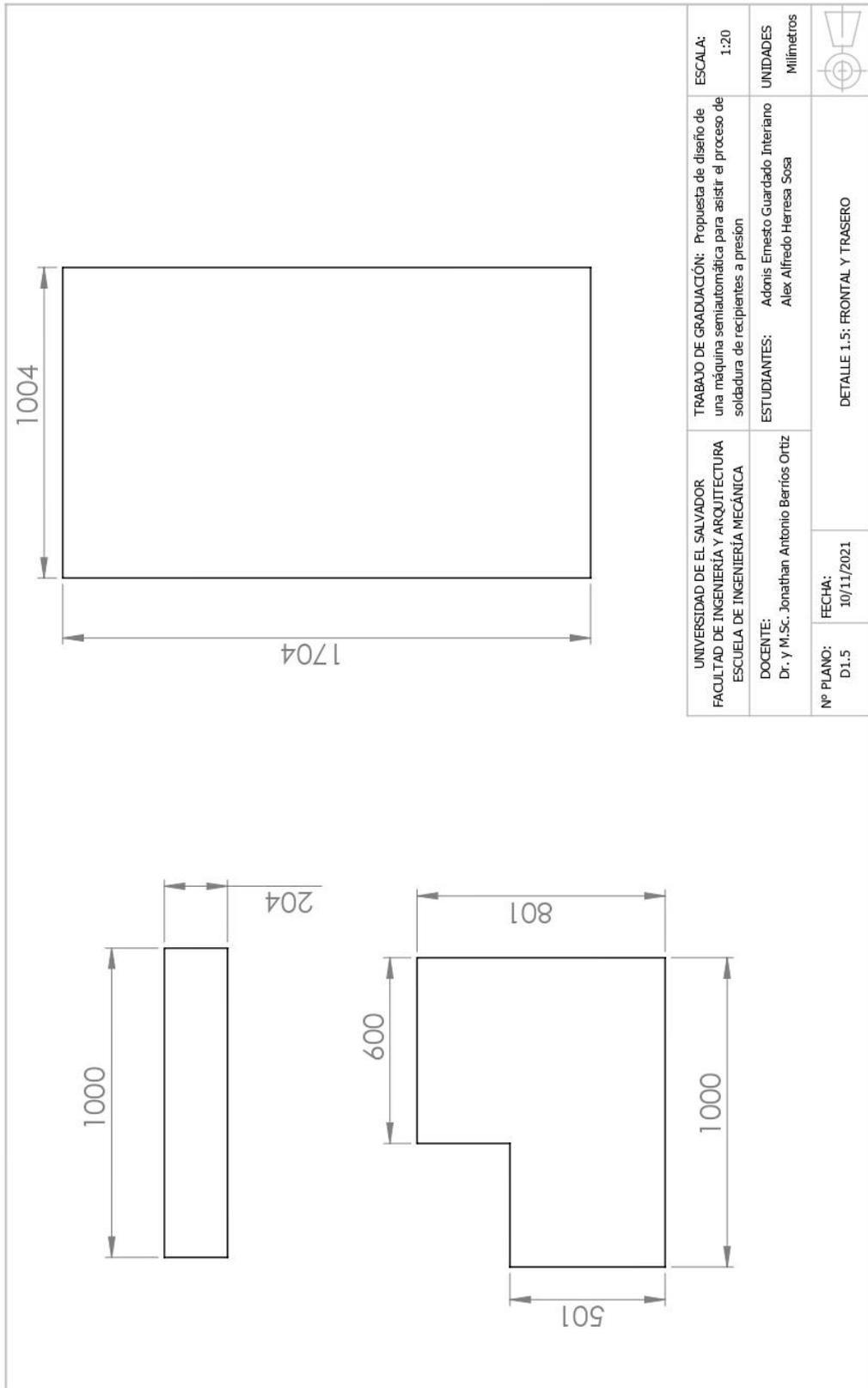


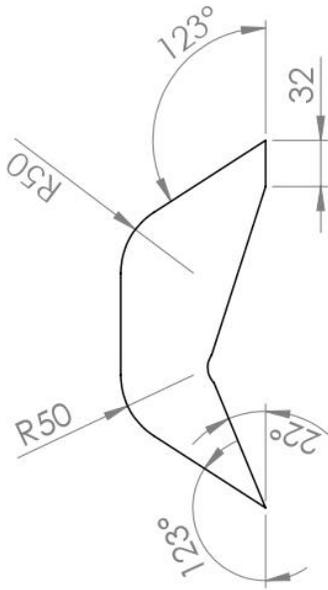
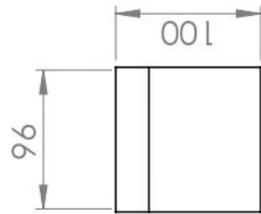
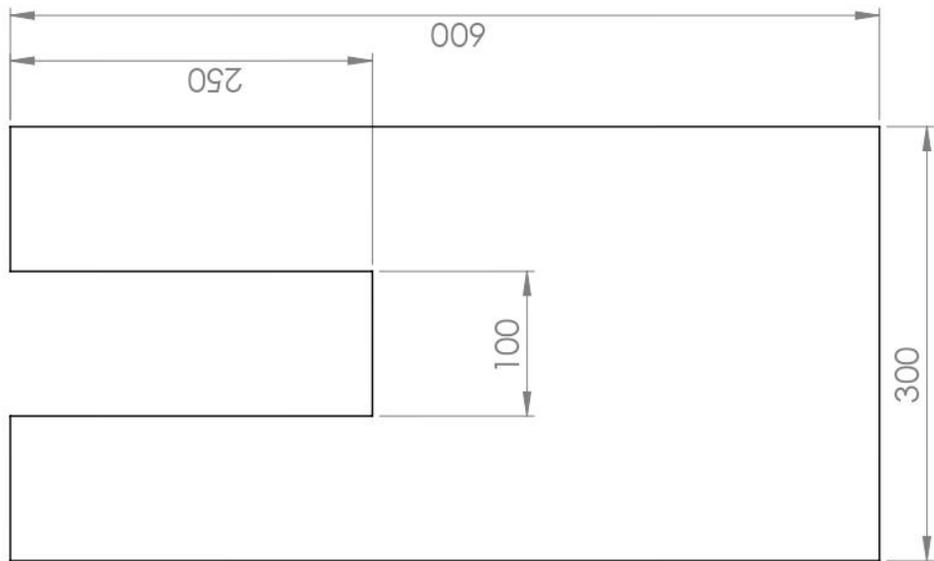


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:5
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz	ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herrera Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D1.4	FECHA: 10/11/2021	
DETALLE 1.4		

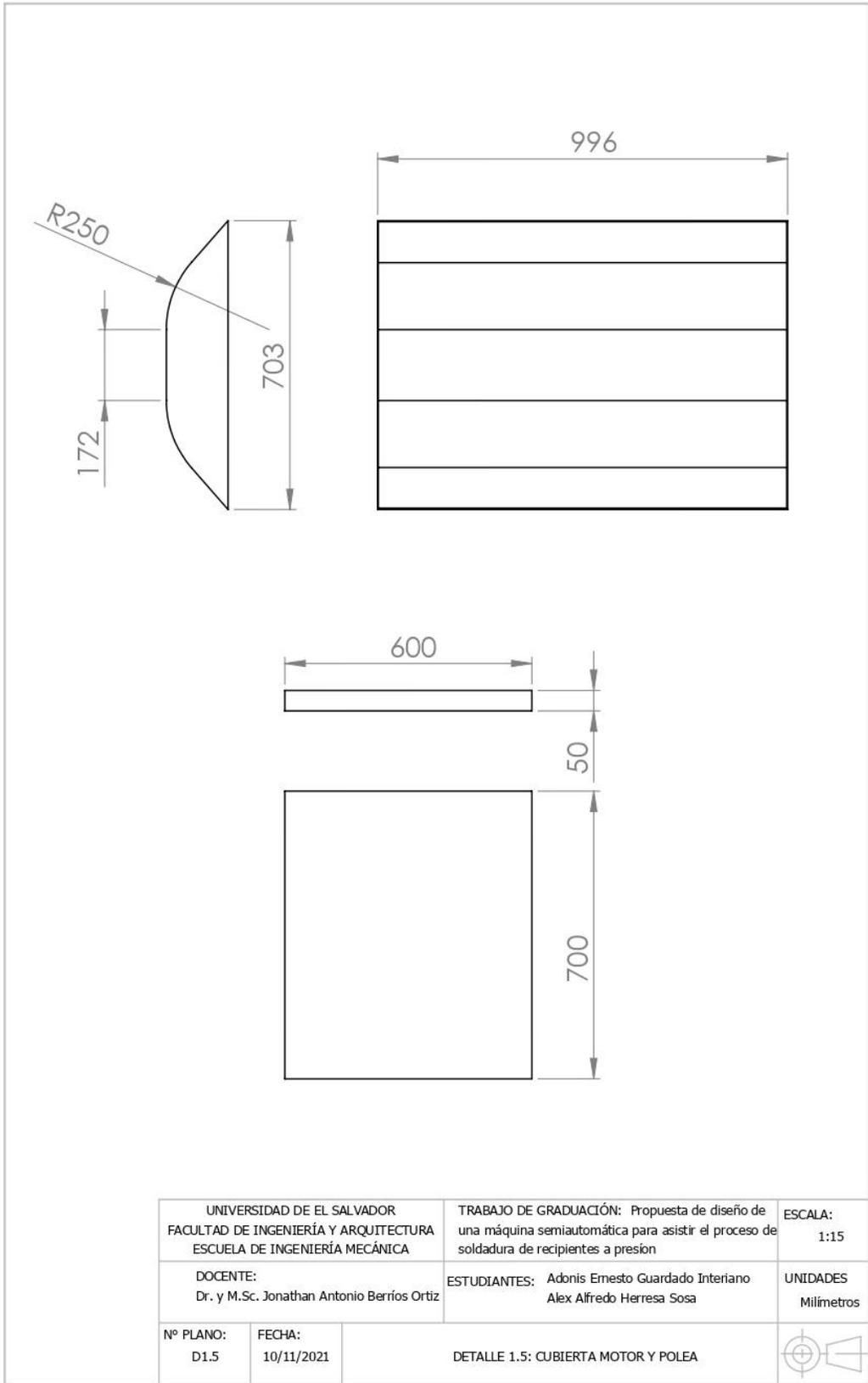


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herrera Sosa	ESCALA: 1:20	UNIDADES Milímetros
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz	N° PLANO: D1.5	FECHA: 10/11/2021	DETALLE 1.5: LATERALES



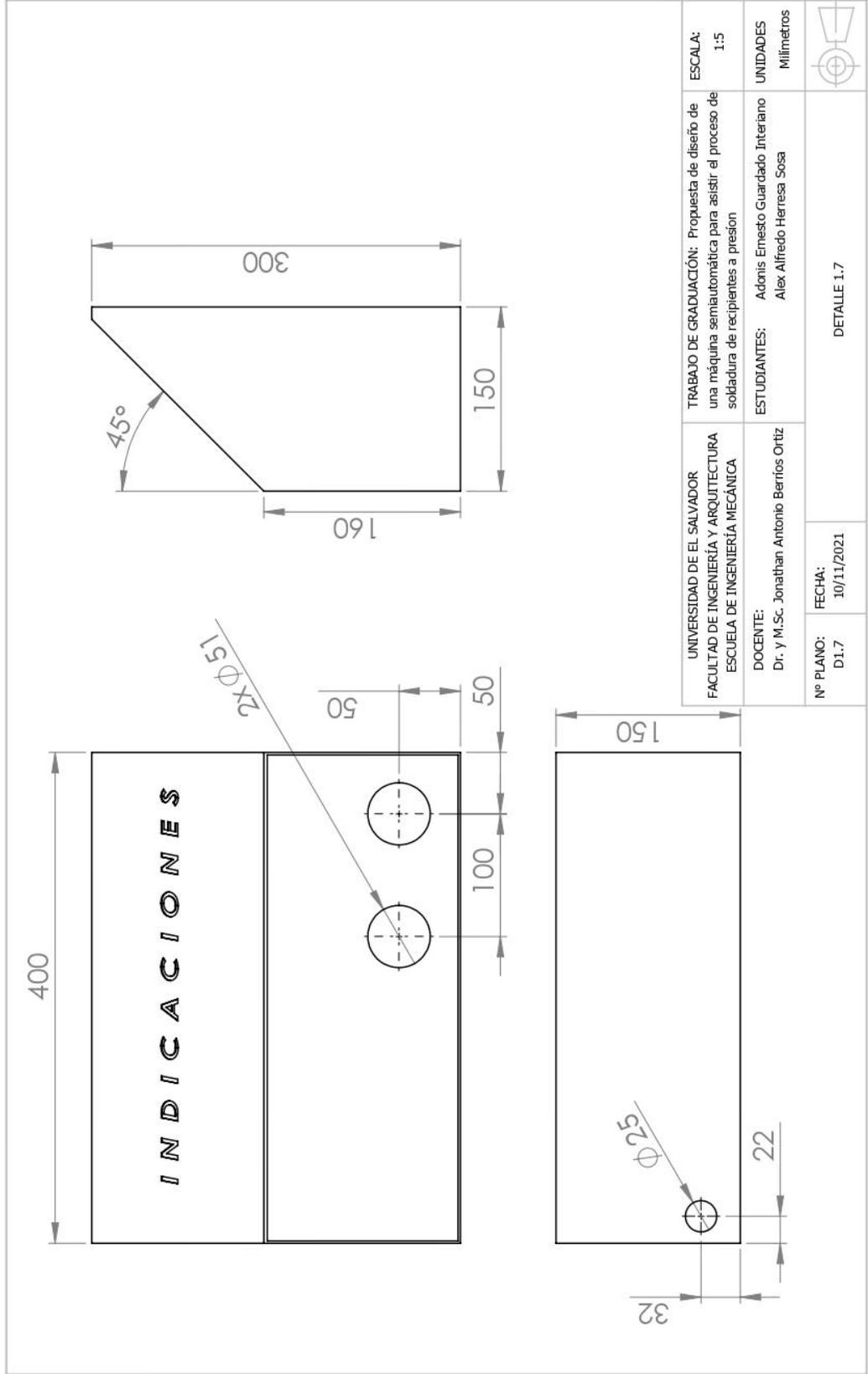


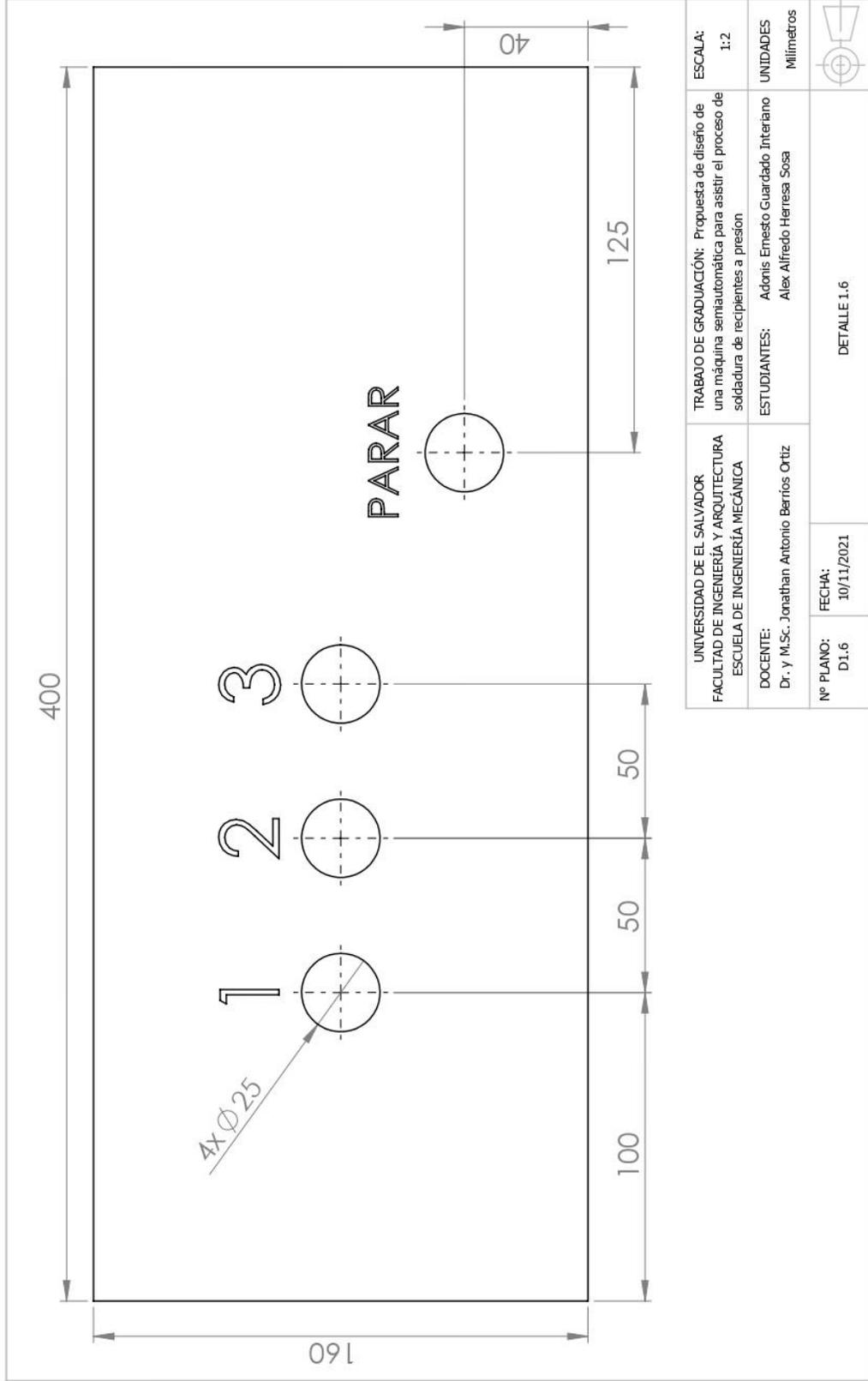
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:5
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz	ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herrera Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D1.5	FECHA: 10/11/2021	
DETALLE 1.5: CUBIERTAS PARA POLEAS		

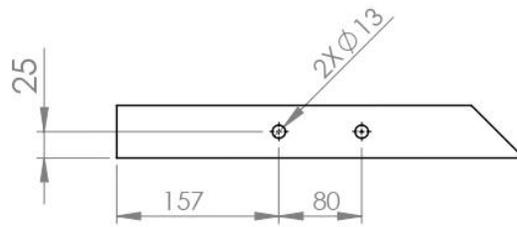


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:15
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D1.5	FECHA: 10/11/2021	DETALLE 1.5: CUBIERTA MOTOR Y POLEA	

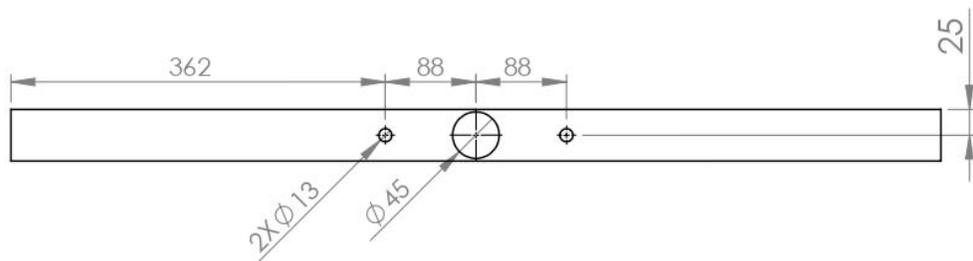




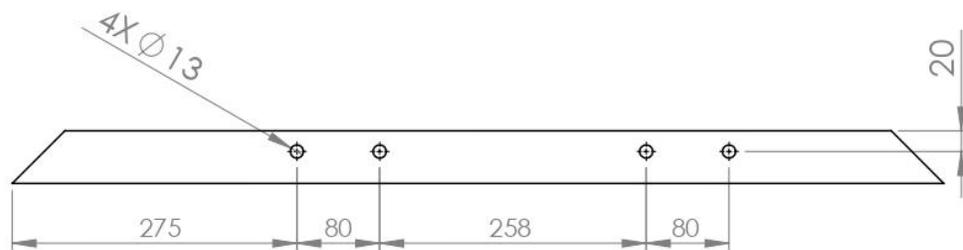




Detalle 2.1

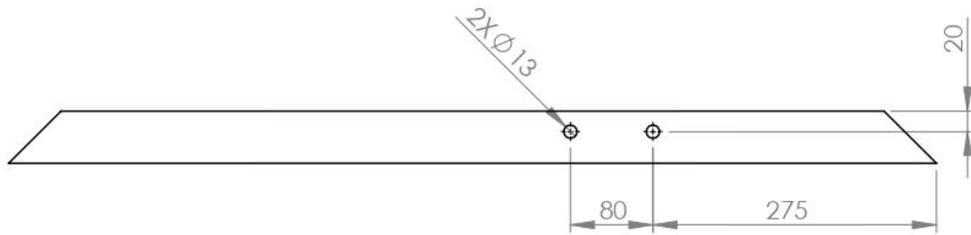


Detalle 2.2

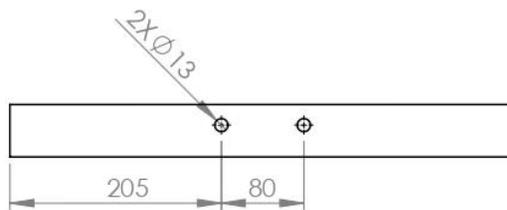


Detalle 2.3

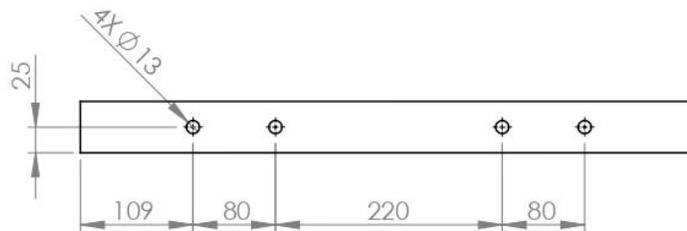
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:7
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D6	FECHA: 10/11/2021	DETALLE 2.1 DETALLE 2.2 DETALLE 2.3	



Detalle 2.4

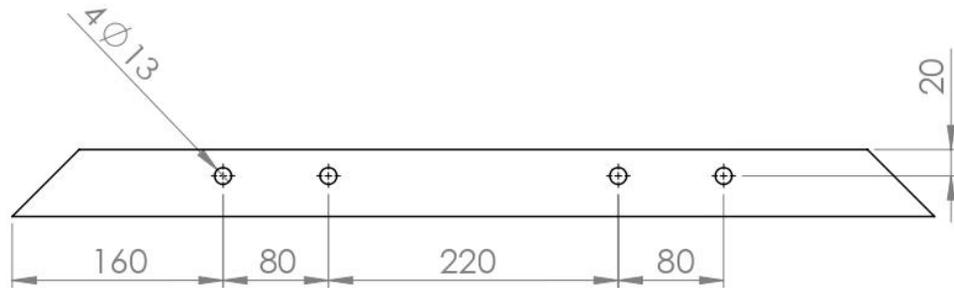


Detalle 2.5

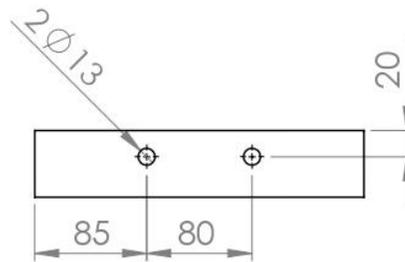


Detalle 2.6

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:7
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D7	FECHA: 10/11/2021	DETALLE 2.4 DETALLE 2.5 DETALLE 2.6	

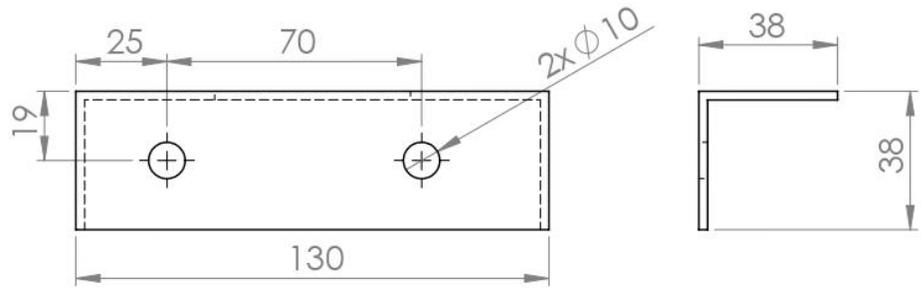


∅----- Detalle 2.7

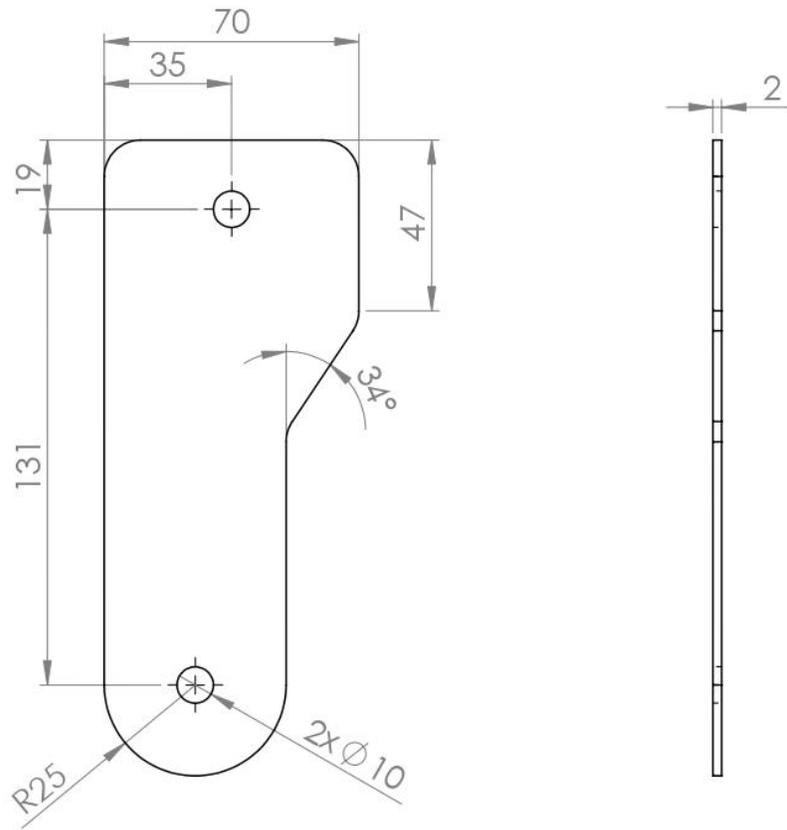


∅----- Detalle 2.8

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:5.5
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D8	FECHA: 10/11/2021	DETALLE 2.7 DETALLE 2.8	

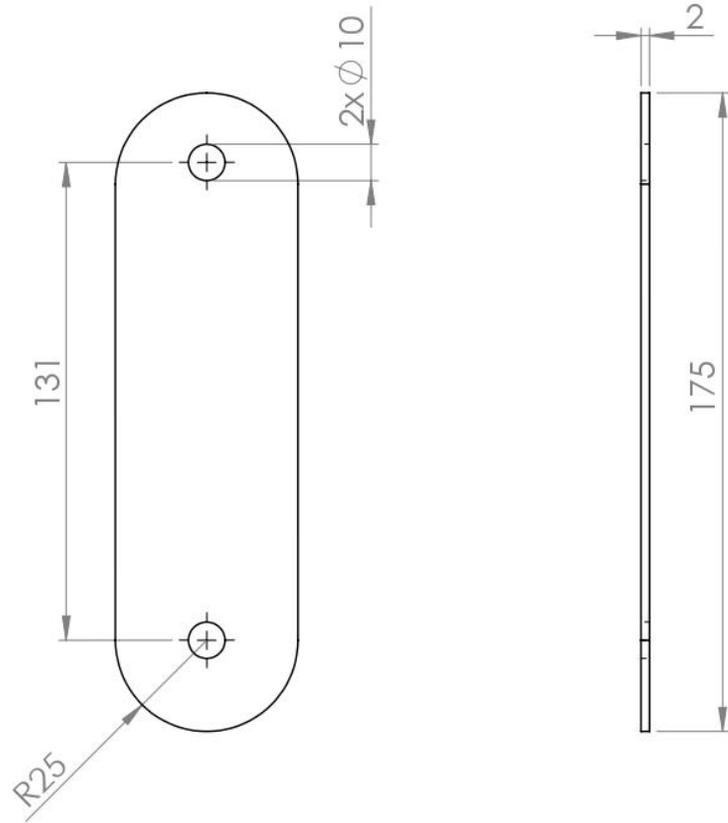


Detalle 2.9

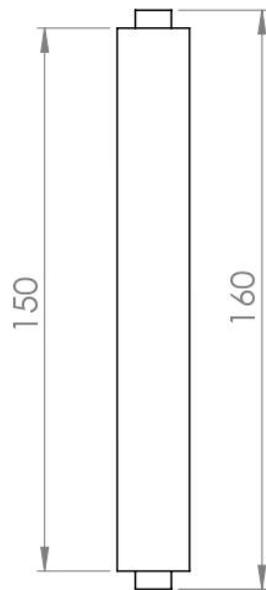
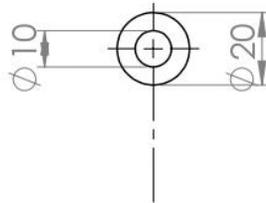


Detalle 2.11

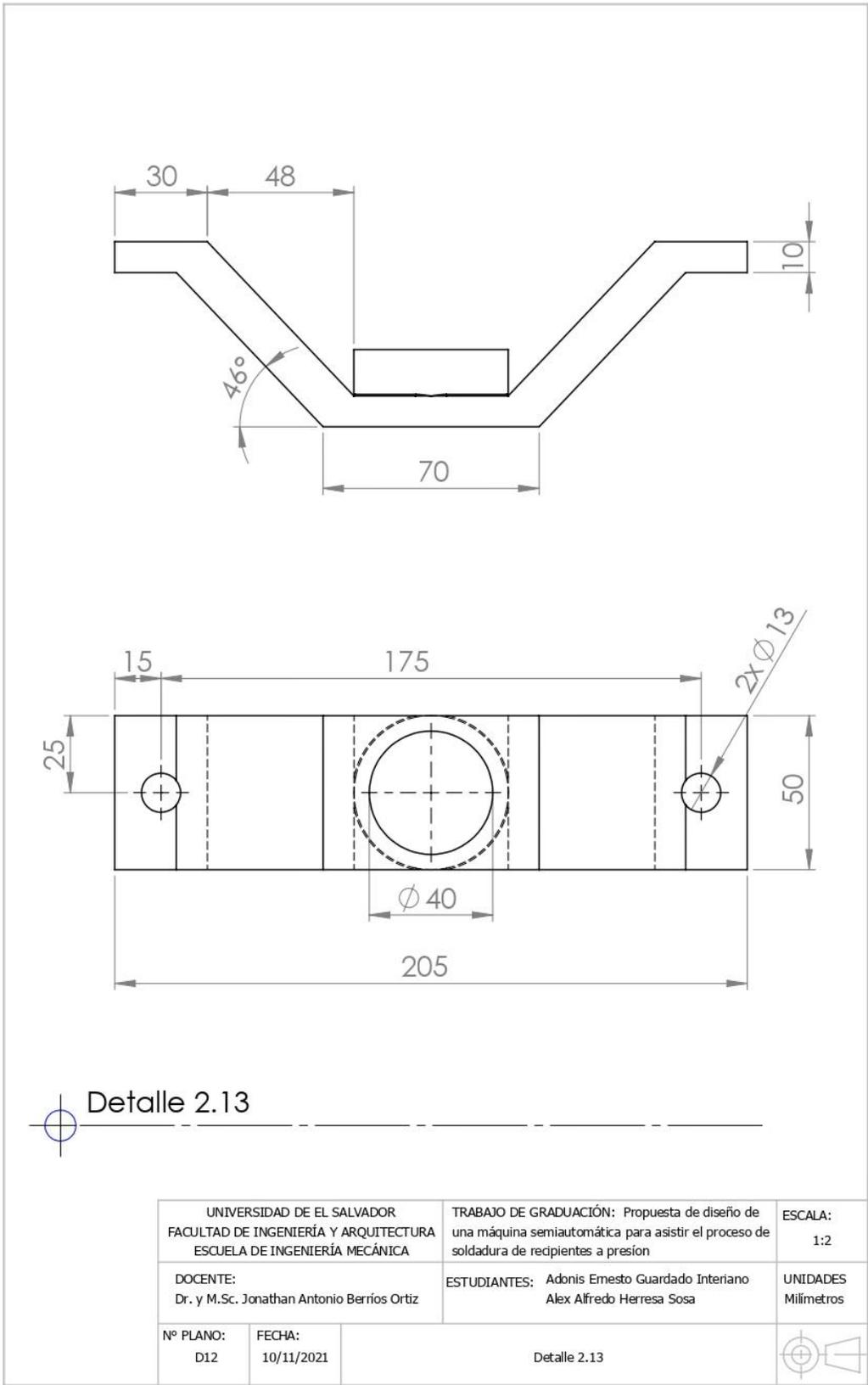
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:2
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D9	FECHA: 10/11/2021	Detalle 2.9 Detalle 2.10	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:2
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D10	FECHA: 10/11/2021	Detalle 2.11	

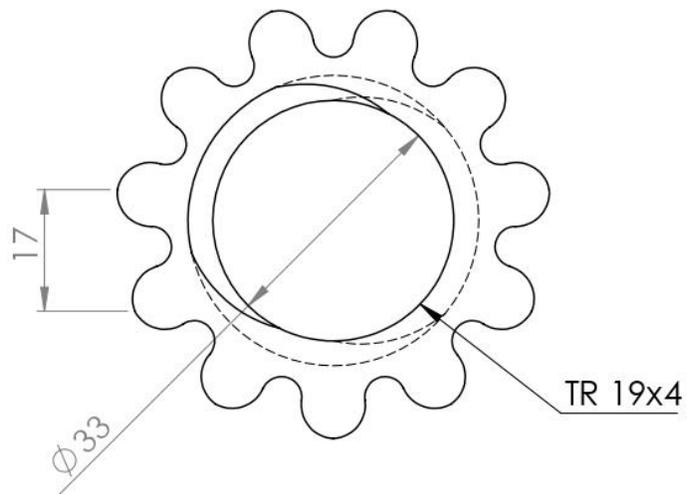
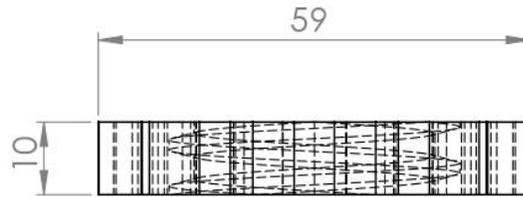


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:2
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D11	FECHA: 10/11/2021	Detalle 2.12	

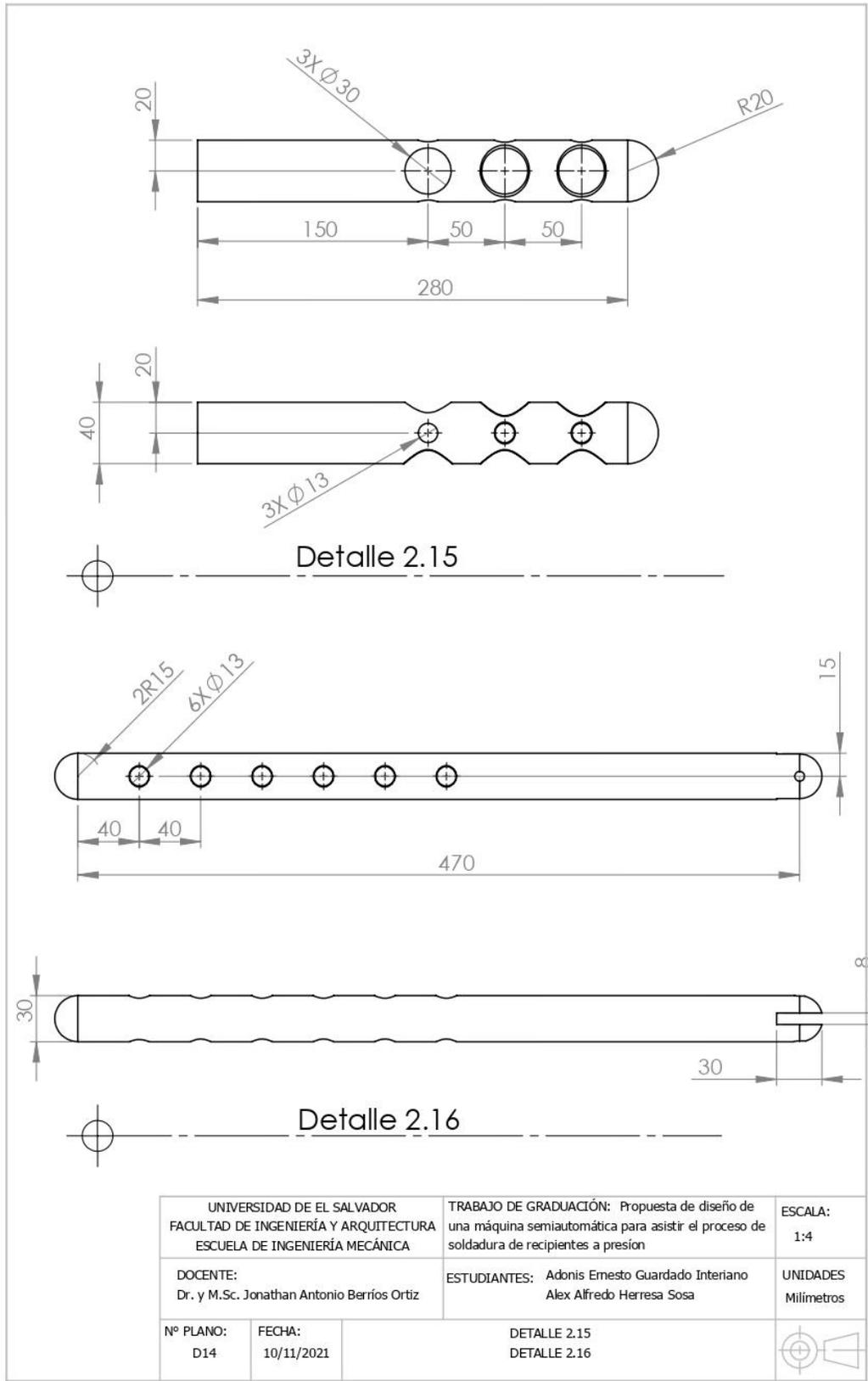



**Detalle 2.13**

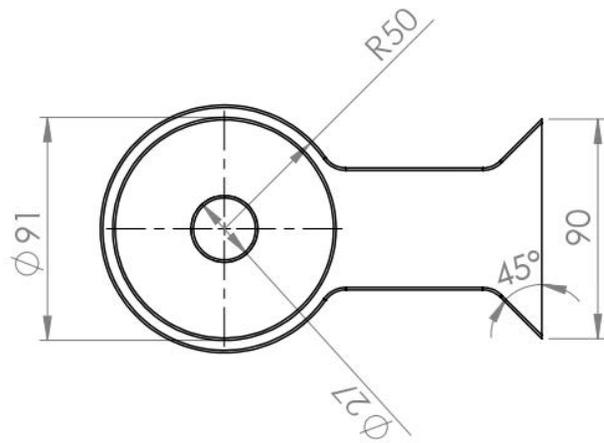
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:2
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D12	FECHA: 10/11/2021	Detalle 2.13	



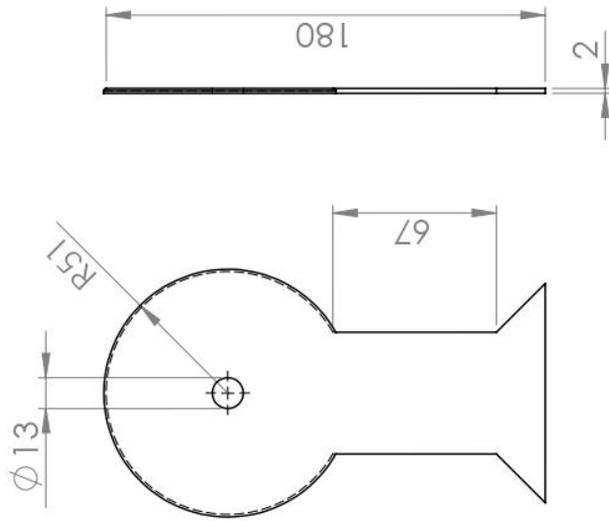
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:2
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D13	FECHA: 10/11/2021	Detalle 2.14	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:4
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D14	FECHA: 10/11/2021	DETALLE 2.15 DETALLE 2.16	

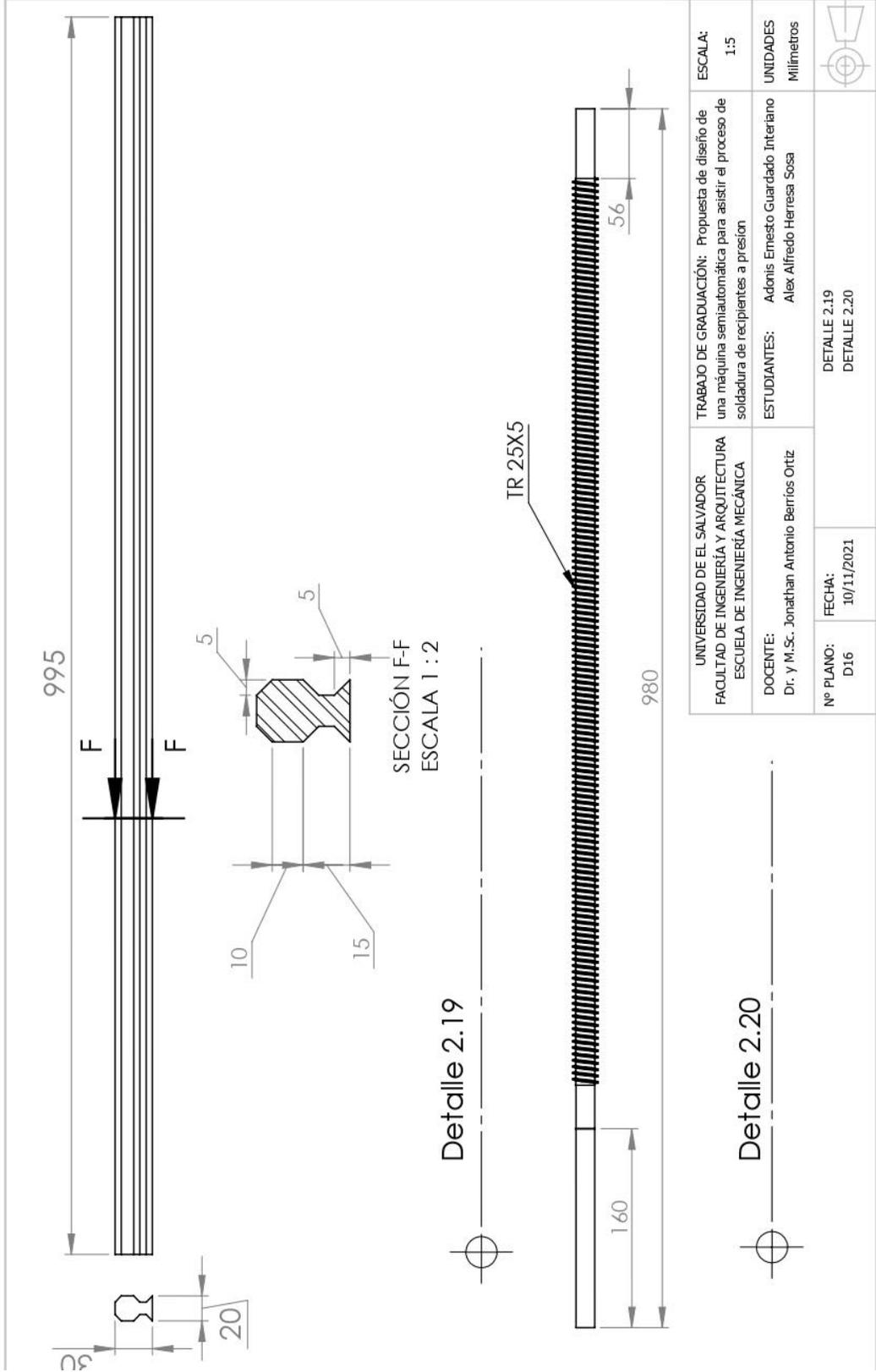


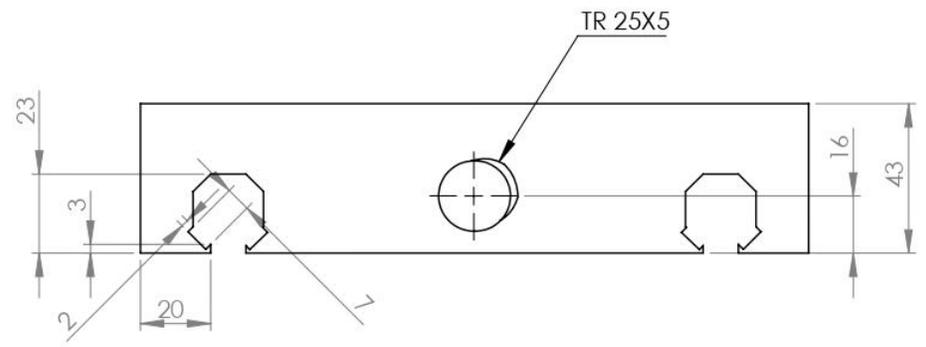
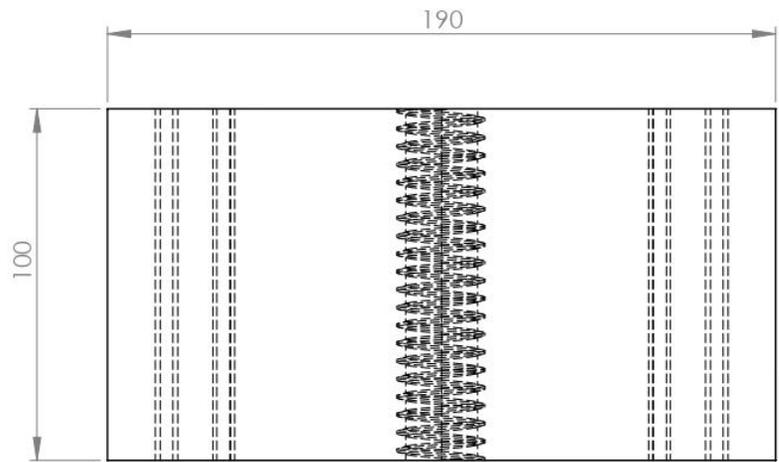
Detalle 2.17



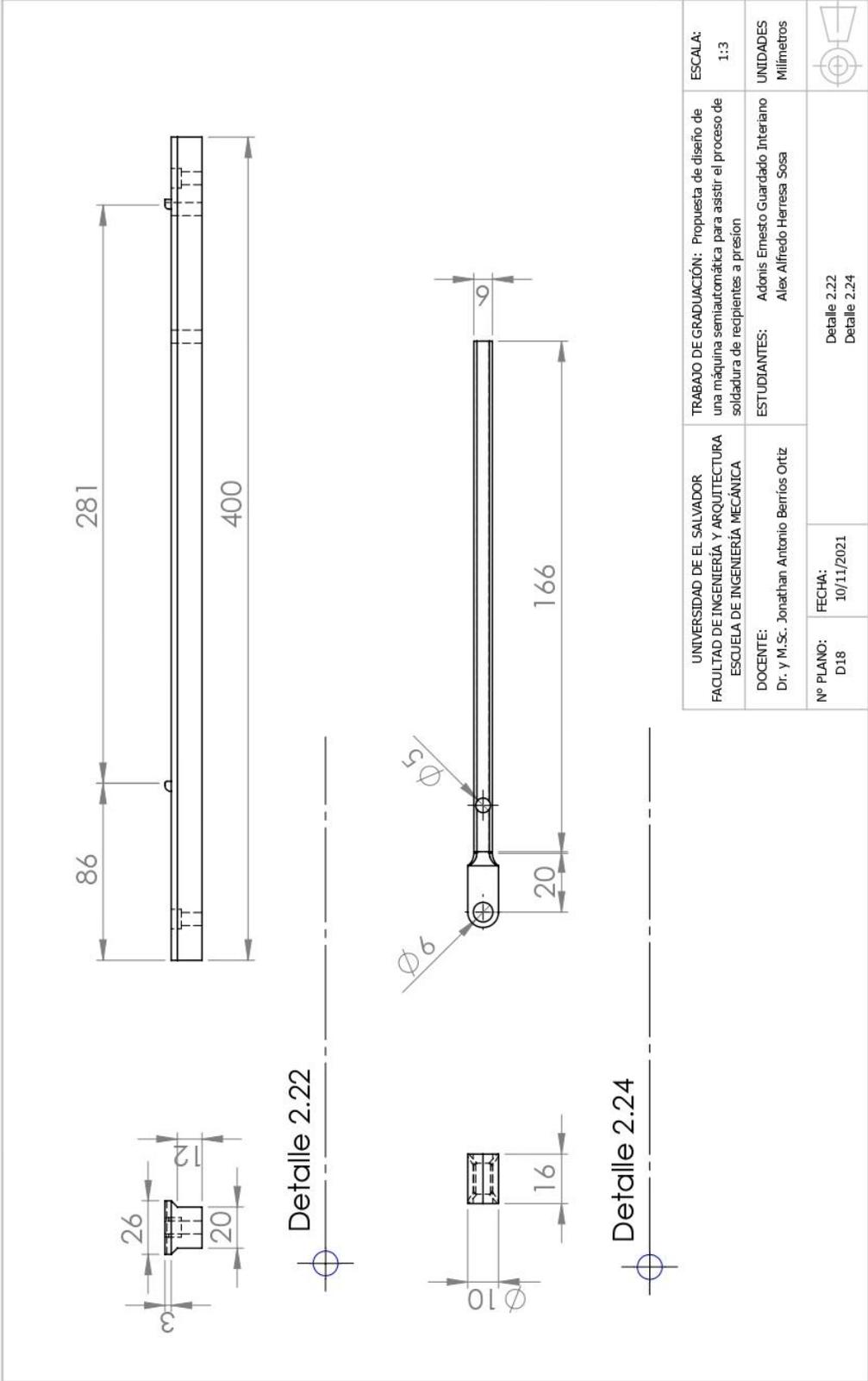
Detalle 2.18

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:3
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Barrios Ortiz	ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herrera Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D15	FECHA: 10/11/2021	Detalle 2.17 Detalle 2.18

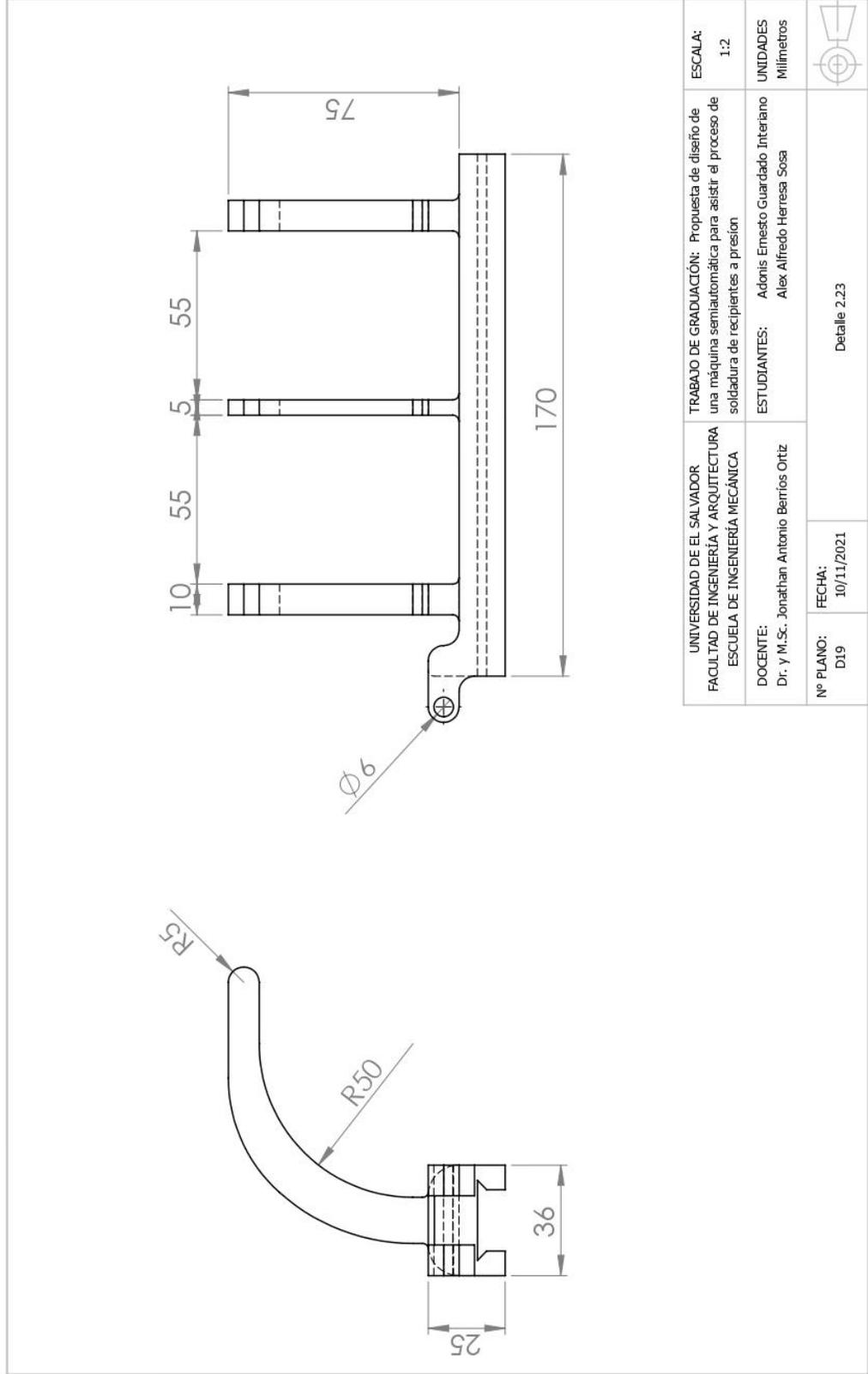


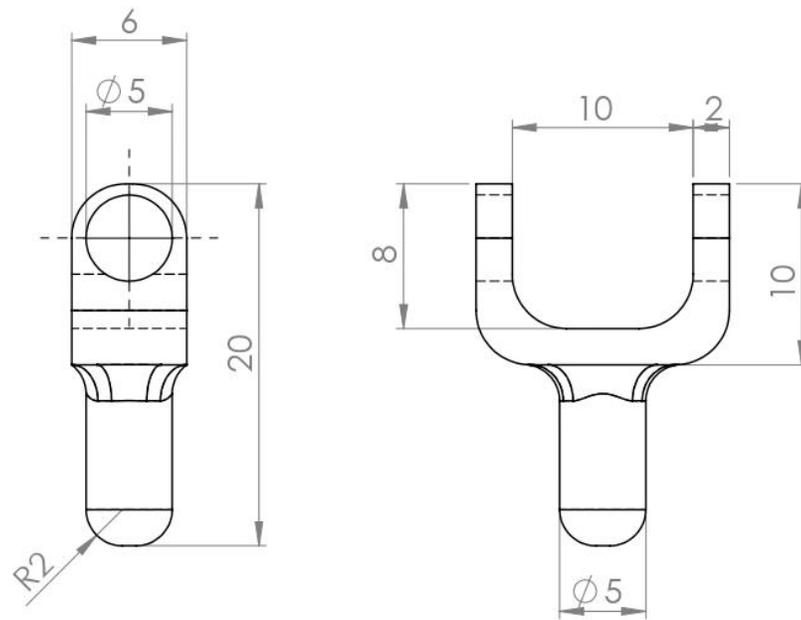


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:2
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D17	FECHA: 10/11/2021	DETALLE 2.21	

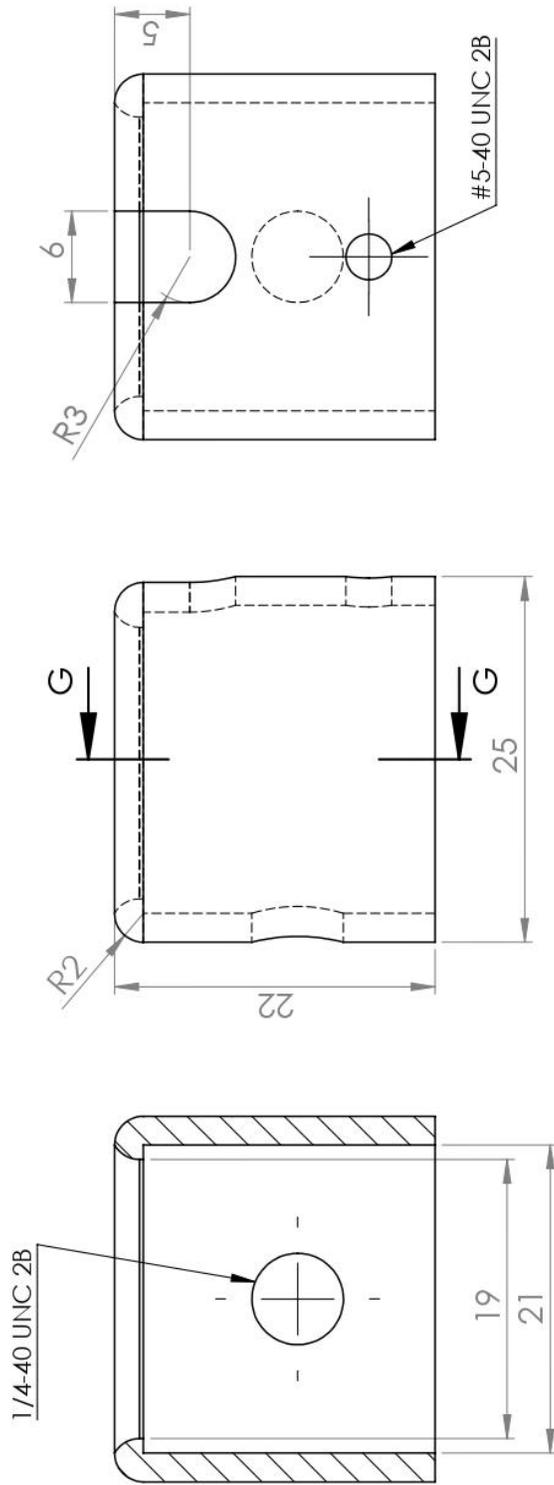


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:3
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz	ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D18	FECHA: 10/11/2021	Detalle 2.22 Detalle 2.24



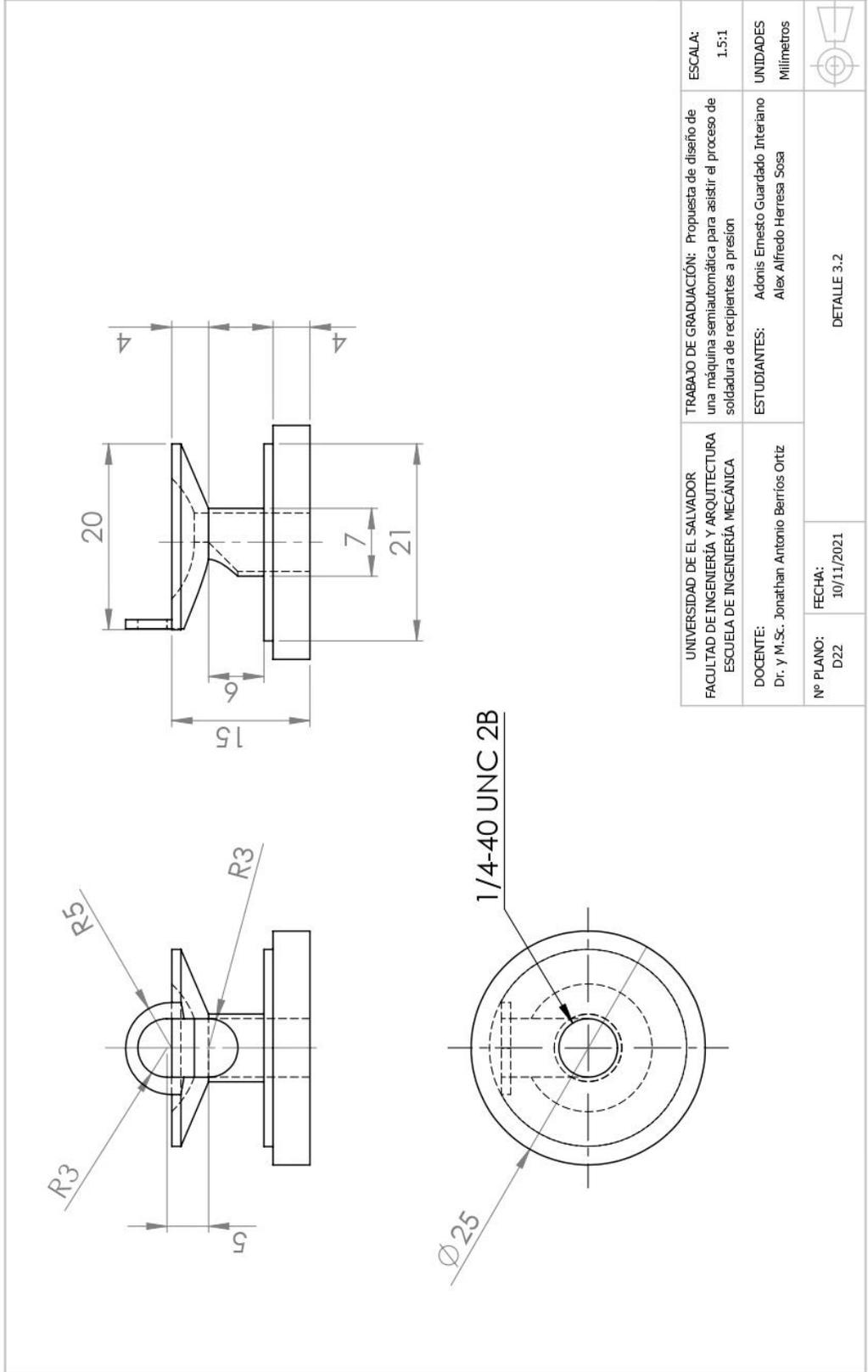


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 2.5:1
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D20	FECHA: 10/11/2021	Detalle 2.25	

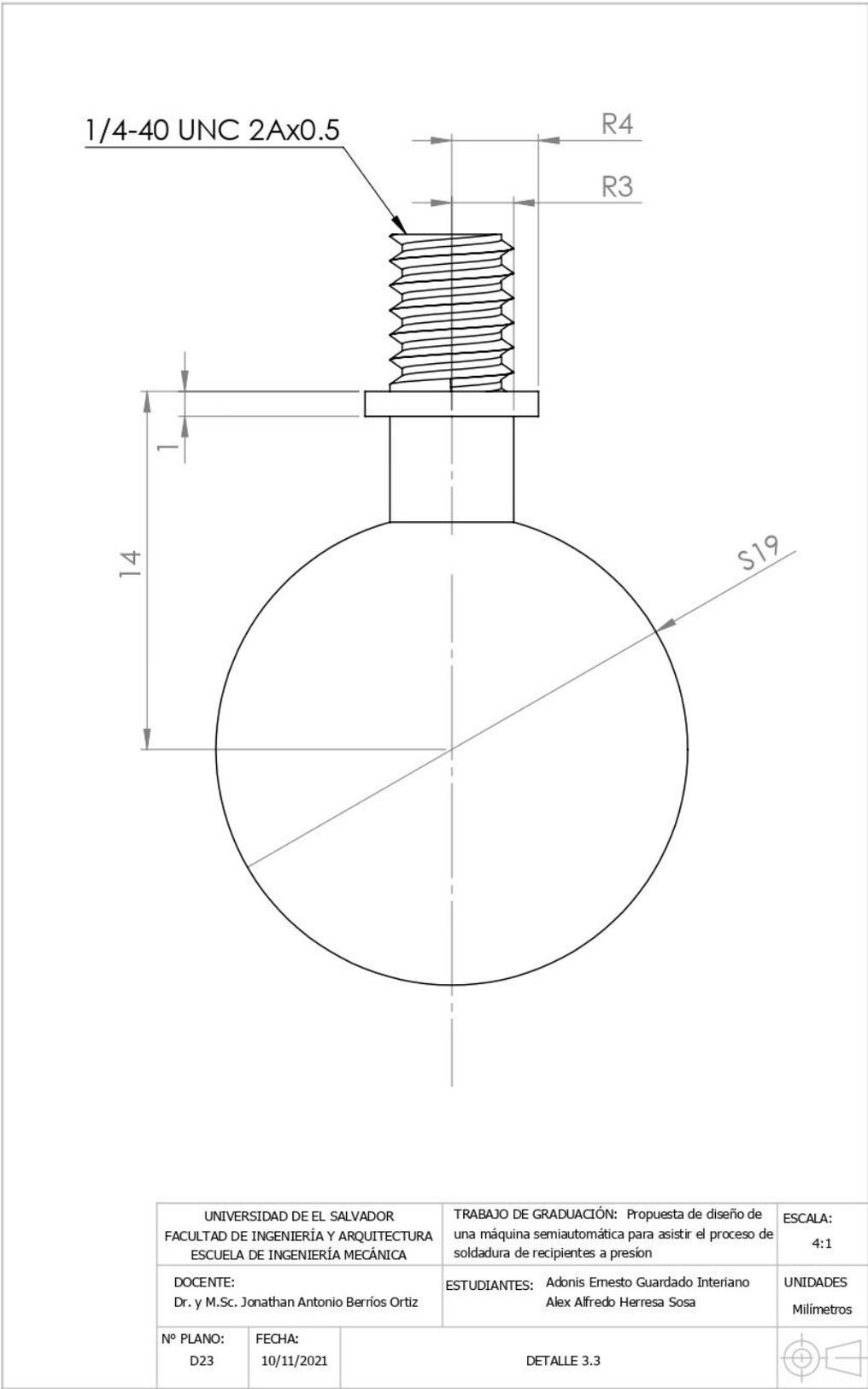


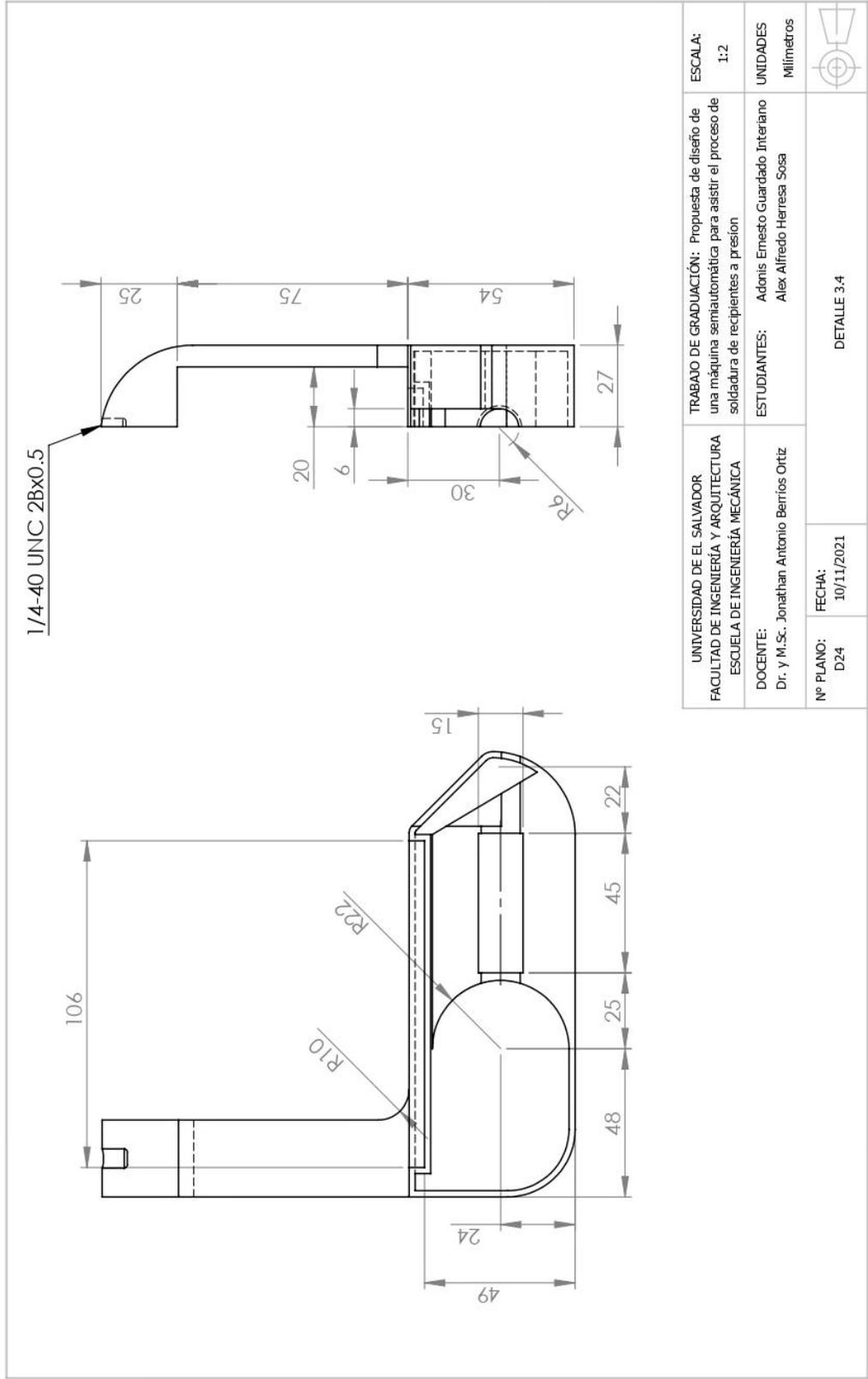
SECCIÓN G-G

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 2:1
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz	ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herrera Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D21	FECHA: 10/11/2021	DETALLE 3.1

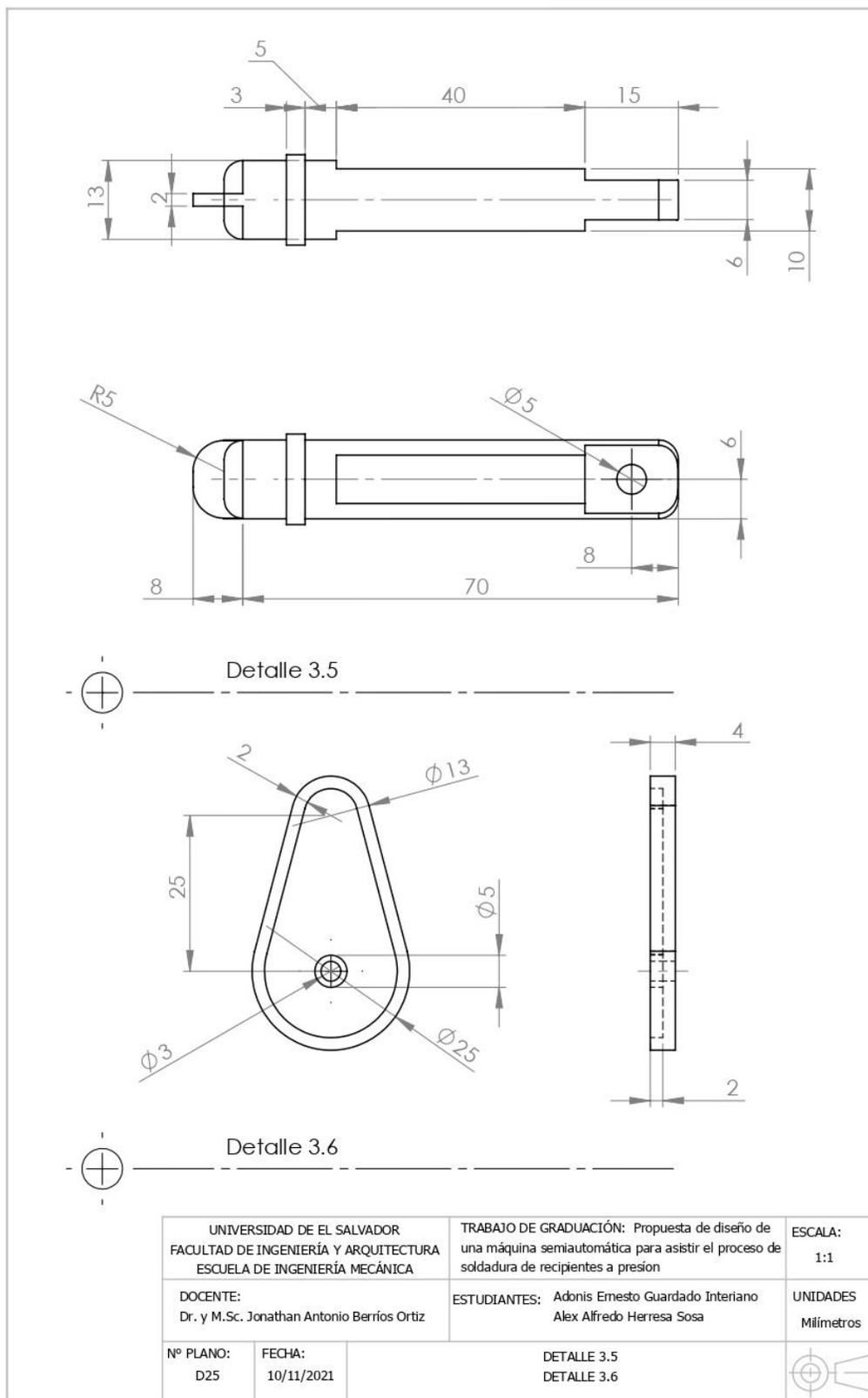


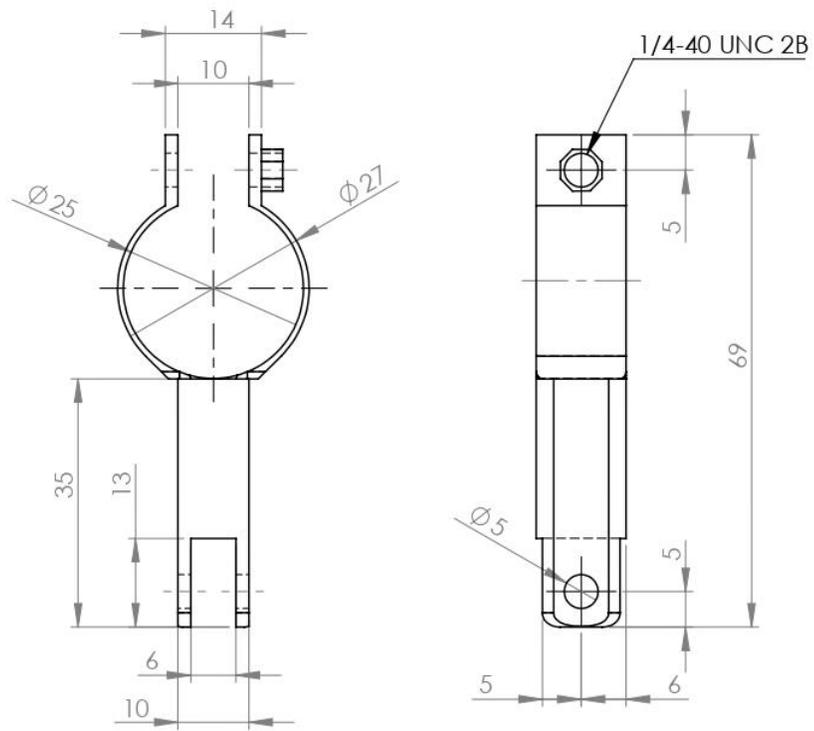
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1.5:1
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Oltz	ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herrera Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D22	FECHA: 10/11/2021	DETALLE 3.2



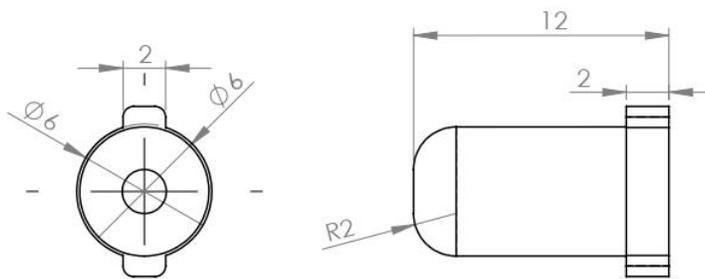


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:2
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz	ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herrera Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D24	FECHA: 10/11/2021	
DETALLE 3.4		





Detalle 3.7



Detalle 3.8

ESCALA 3:1

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de diseño de una máquina semiautomática para asistir el proceso de soldadura de recipientes a presión	ESCALA: 1:1
DOCENTE: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Adonis Ernesto Guardado Interiano Alex Alfredo Herresa Sosa	UNIDADES Milímetros
Nº PLANO: D26	FECHA: 10/11/2021	DETALLE 3.7 DETALLE 3.8	

