



UNIVERSIDAD DE TALCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MECATRÓNICA

DISEÑO DE UNA SOLDADORA ORBITAL DE TUBOS MEDIANTE EL PROCESO TIG

Memoria para optar al Título de

Ingeniero Civil Mecatrónico.

Profesor Guía: Ambrosio Martinich

PETER RENATO REUCK CONTRERAS

CURICÓ-CHILE

2018

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Curicó, 2020

Resumen

Diseño de una soldadora orbital de tubos mediante el proceso de soldadura TIG

En la presente memoria de título se tuvo como finalidad llevar a cabo el diseño del prototipo de un dispositivo soldador orbital de tubos, el que se caracteriza por la realización del proceso de soldadura de forma automática y mediante una pinza soldadora universal, pudiendo ser utilizada esta misma en varios modelos y marcas de máquinas soldadoras TIG o GTAW que cumplan con ciertas características.

En primera instancia, se realiza una introducción al proceso de soldadura TIG, tipos de máquinas, descripción de los componentes, realización del proceso, hitos, entre otros. Luego, se lleva a cabo el análisis técnico y teórico de las materias involucradas para desarrollar el diseño de la pinza soldadora, también se modela en inventor los componentes y piezas estudiados con anterioridad, la programación de los modos de operación de la pinza y el circuito electrónico necesario para llevar a cabo la soldadura automatizada de tuberías mediante el proceso TIG.

Finalmente, el resultado de este documento corresponde al diseño del prototipo del dispositivo soldador orbital mediante el proceso TIG, con todas sus partes y piezas respaldadas por los análisis y estudios requeridos, como también, el respaldo de la selección de los componentes y la elección del diseño mediante el Estado Del Arte actual de la materia.

Tabla de contenidos

Resumen	iv
Lista de tablas	viii
Lista de figuras	ix
Nomenclatura.....	xi
Abreviaciones	xii
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Problemática	2
1.3 Estado del Arte.....	3
Aparato Cabezal Soldador, Patente U.S. N°3,688,069 por Kazlauskas	5
Dispositivo de Sujeción, Patente US N°4,868,367, Por Benway et al.	7
Cabezal soldador, Patente US N°3,461,265, Por L. W. Spiro.....	9
1.4 Objetivos.....	12
1.4.1 Objetivo general	12
1.4.2 Objetivos específicos.....	12
1.5 Alcances y Limitaciones	13
1.5.1 Alcances.....	13
1.5.2 Limitaciones	13
Capítulo 2. Análisis del proceso de soldadura TIG	15
2.1 Introducción	15
2.2 Parámetros Asignados por el Profesor.....	15
2.3 Tipos de Máquinas TIG	15
2.4 Ángulo de soldadura	18
2.5 Antorcha.....	19
2.6 Tungsteno.....	20
2.7 Gas Protector.....	23
2.8 Boquilla.....	24
2.9 Corriente y Velocidad de avance	24
2.10 Conclusión.....	25
Capítulo 3. Análisis Previo al Diseño.....	26
3.1 Introducción	26
3.2 Motor	26

3.2.1	Selección del tipo de motor	26
3.2.2	Análisis del Motor Paso a Paso	27
3.3	Engranajes.....	30
3.4	Conectores	32
3.4.1	Tipos de antorchas y cableados	34
3.5	Análisis de la implementación de un sistema de enfriamiento	37
3.6	Seguridad	39
Capítulo 4.	Diseño de la Soldadora Orbital TIG	41
4.1	Introducción	41
4.2	Sistema de transmisión	41
4.3	Alma de plástico resistente al calor	43
4.3.1	Sistema de inyección de gas	43
4.4	Anillo/rodillo rozantes y conector de alimentación	46
4.5	Soporte exterior.....	48
Capítulo 5.	Selección de componentes	52
5.1	Introducción	52
5.2	Selección del motor	52
5.3	Driver A4988	55
5.4	Controlador	57
Capítulo 6.	Materiales	59
6.1	Introducción	59
6.2	Engranaje soldador, Varilla de contacto, Anillo y Rodillos	59
6.3	Alma plástica resistente al calor	60
6.4	Soporte exterior.....	62
Capítulo 7.	Circuitería y programación	63
7.1	Introducción	63
7.2	Pantalla LCD 20x4 y Driver I2c	63
7.3	Motor y Driver A4988	64
7.4	Funcionamiento del Programa	65
7.5	Circuito	69
Capítulo 8.	Conclusiones.....	70
	Bibliografía.....	73
Anexo A	“Código Arduino”	A
Sección 1	Del código.....	1A

Sección 2 Del código.....	2A
Sección 3 Del código.....	3A
Sección 4 Del código.....	4A
Sección 5 Del código.....	5A
Anexo B “Circuito Proteus”	B
Anexo C “Planos Inventor”	C
Página 1 Diseño Inventor “Sistema de Transmisión”	1C
Página 2 Diseño Inventor “Vista Principal”	2C
Página 3 Diseño Inventor “Alma Plástica”	3C
Página 4 Diseño Inventor “Mango”	4C
Página 5 Diseño Inventor “Soporte de Tubería”	5C
Página 6 Diseño Inventor “Sistema de Potencia”	6C
Página 7 Diseño Inventor “Válvula de Gas”	7C
Anexo D “Cuadro de Criterios”	D

Lista de tablas

Tabla 2. 1"Características de los tipos de soldeo para sus diferentes corrientes" [3].....	16
Tabla 2. 2"Tipo de corriente para cada material a soldar mediante el proceso TIG" [17]. ..	17
Tabla 2. 3"Tipos de Tungsteno" [19].	21
Tabla 2. 4"Selección del electrodo" [19].....	21
Tabla 2. 5"Tipos de puntas para el Tungsteno" [2].....	21
Tabla 2. 6"Flujo de Gas" [22].....	23
Tabla 2.7"Corriente y Velocidad para soldadura TIG de Acero Inox."	24
Tabla 2. 8"Díámetro del Tungsteno por Amperaje" [17].	25
Tabla 2.9"Parámetros y componentes obtenidos del Capítulo 1".	25
Tabla 3. 1"Datos Obtenidos".	38
Tabla 3. 2"Efectos de la electricidad sobre el organismo" [32].	40
Tabla 4. 1"Especificación BSP 3/8" [34].	48
Tabla 5. 1"Pines A4988" [16].....	56
Tabla 5. 2"Configuración de pasos" [16].	57
Tabla 6. 1"Conductividad térmica" [38].....	60
Tabla 6. 2"Propiedades TECA PEEK" [39].	62

Lista de figuras

Fig. 1.1"Proceso TIG".....	1
Fig. 1.2"Cabezal tipo G" [4].....	3
Fig. 1.3"Cabezal Tipo H" [4].	3
Fig. 1.4"Cabezal tipo I" [4].	3
Fig. 1.5"Cabezal tipo J" [4].	4
Fig. 1.6"Cabezal tipo K" [4].	4
Fig. 1.7"Cabezal tipo L" [4].	4
Fig. 1.8"Cabezal Tipo M" [4].	4
Fig. 1.9"Cabezal tipo P" [4].	5
Fig. 1. 10"Dispositivo Orbital Welding" [9].	6
Fig. 1. 11"Sistema de inyección de gas" [9].	6
Fig. 1. 12"Conector flujo de gas" [9].	7
Fig. 1. 13"Sistema de Sujeción" [11].	8
Fig. 1. 14"Perspectiva pinza de sujeción" [11].	8
Fig. 1. 15"Soporte collarín" [11].	9
Fig. 1. 16"Soldadora Orbital" [14].	10
Fig. 1. 17"Engranaje Soldador" [14].	10
Fig. 1. 18"Cara Posterior Soldadora Orbital" [14].	11
Fig. 2.1"Distribución del calor entre el electrodo y el trabajo de cada tipo de corriente". ..	15
Fig. 2.2"Componentes de equipo TIG CCXX" [3].	17
Fig. 2.3"Soldadura 1G" [2].	18
Fig. 2.4"Soldadura 5G" [2].	18
Fig. 2.5"Soldadura 2G" [2].	18
Fig. 2.6"Soldadura 6G" [2].	18
Fig. 2.7"Soldadura 6GR" [2].	19
Fig. 2.8"Penetración de aire en soldadura" [2].	19
Fig. 2.9"Antorcha TIG" [18].	20
Fig. 2.10"Relación Diámetro/Punta para el Tungsteno" [2].	22
Fig. 2.11"Profundidades de penetración de la soldadura" [2].	22
Fig. 2.12"Preparado del Tungsteno" [20].	22
Fig. 2.13"Caudal de Gas al Soldar" [2].	24
Fig. 3. 1"Reluctancia variable" [27].	28
Fig. 3. 2"Magneto permanente" [27].	28
Fig. 3. 3"Híbrido" [27].	29
Fig. 3. 4"Motor simple de dos fases de paso completo" [27].	29
Fig. 3. 5"Motor simple de dos fases de paso medio" [27].	29
Fig. 3. 6"Diagrama de corriente motor 2 Fases, paso completo y medio" [27].	30
Fig. 3. 7"Tipo de junta A" [2].	33
Fig. 3. 8"Tipo de junta B " [2].	33
Fig. 3. 9"Porta pinza y pinza" [2].	33
Fig. 3. 10"Antorcha una sola manguera con botón"	34
Fig. 3. 11"Antorcha un cable y una manguera con botón"	35
Fig. 3. 12"Antorcha cable/manguera, Conexión a máquina"	35
Fig. 3. 13"Adaptador"	36

Fig. 3. 14"Conector unicable WP-26".	36
Fig. 3. 15"Switch ON/OFF".	37
Fig. 3. 16"Pruebas de soldadura".	37
Fig. 3. 17"Seguridad soldadura TIG" [20].	40
Fig. 4. 1"Sistema de transmisión del movimiento".	41
Fig. 4. 2"Parámetros Transmisión".	42
Fig. 4. 3"Vinculo soldador-locos".	42
Fig. 4. 4"Exterior alma plástica".	43
Fig. 4. 5"Válvula Gas".	44
Fig. 4. 6"Canal de inyección de gas".	44
Fig. 4. 7"Triángulo Arco".	45
Fig. 4. 8"Proceso de inyección del gas".	46
Fig. 4. 9"Sistema de alimentación eléctrica".	47
Fig. 4. 10"Adapatador de hilo y tubería".	48
Fig. 4. 11"Soporte Exterior".	49
Fig. 4. 12"Seguros Boquillas".	49
Fig. 4. 13"Seguros Soporte exterior".	50
Fig. 4. 14"Cerrado de Pinzas".	50
Fig. 5. 1"Sistema unión engranaje motor".	53
Fig. 5. 2"Medidas Nema 17" [35].	53
Fig. 5. 3"Pinza con motor".	54
Fig. 5. 4"Conexión de fases" [27].	54
Fig. 5. 5"DriverA4988" [16].	55
Fig. 5. 6"Conexión A4988" [16].	55
Fig. 5. 7"Pines Modulo A4988".	56
Fig. 5. 8"Pantalla LCD".	57
Fig. 5. 9"Driver A4988".	57
Fig. 5. 10"Motor de pasos".	58
Fig. 5. 11"Botones".	58
Fig. 5. 12"Arduino Mega".	58
Fig. 6. 1"Conductividad eléctrica del cobre y sus aleaciones".	59
Fig. 7. 1"Dispositivo de comunicación I2C" [41].	63
Fig. 7. 2" Circuito Pantalla Bus I2C, A4988 y motor de paso".	65
Fig. 7. 3"Botonera".	66
Fig. 7. 4"Configuración de parámetros".	67
Fig. 7. 5"Sensores de cierre".	68
Fig. 7. 6"Pinza soldando".	68
Fig. 7. 7"Indicadores de proceso de soldadura".	69

Nomenclatura

r	:	Relación de transmisión [cm]
v	:	Velocidad linear $\left[\frac{cm}{seg}\right]$
ω	:	Velocidad angular $\left[\frac{Rad}{seg}\right]$
n_1	:	Revoluciones por minuto engranaje motor
d_1	:	Diámetro engranaje motor [cm]
n_2	:	Revoluciones por minuto engranaje soldador
d_2	:	Diámetro engranaje soldador
r_1	:	Radio primitivo engranaje motor [cm]
r_2	:	Radio primitivo engranaje soldador [cm]
z_1	:	Número de dientes engranaje motor
z_2	:	Número de dientes engranaje soldador
d	:	Diámetro de la tubería [cm]
ω_{g1}	:	Grados por segundo a los que gira el engranaje soldador
ω_{g2}	:	Grados por segundo a los que gira el engranaje motor
f	:	Frecuencia [Hz]
f_{res}	:	Fuerza de rozamiento engranaje soldador
f_{rel}	:	Fuerza de rozamiento engranajes locos
f_{rem}	:	Fuerza de rozamiento engranaje motor
f_{rtotal}	:	Fuerza de rozamiento total
f_r	:	Fuerza de rozamiento
μ	:	Coefficiente de Fricción
N	:	Peso

Abreviaciones

CC	:	Corriente Continua
CCEN	:	Corriente Continua Electrodo Negativo
CCEP	:	Corriente Continua Electrodo Positivo
CCPD	:	Corriente Continua Polaridad Directa (igual que CCEN)
CCPI	:	Corriente Continua Polaridad Inversa (igual que CCEP)
AWS	:	American Welding Society
CCXX	:	Corriente Continua Electrodo Positivo o Negativo
Rpm	:	Revoluciones Por Minuto
IACS	:	International Annealed Copper Standard
CAhf	:	Corriente Alterna alta frecuencia

Capítulo 1. Introducción

1.1 Introducción

La soldadura es la unión mecánicamente resistente de dos cuerpos metálicos. En un principio esta se llevaba a cabo mediante el método del “calentado”, donde el martilleo de dos metales previamente calentados hasta alcanzar un estado plástico, permitía que parte de una pieza penetrara la otra, esto se realizaba repetidas veces (calentar y golpear), lo que finalmente terminaba resultando en la unión de dos piezas metálicas, de esta manera el proceso de soldadura fue evolucionando pasando por los principales métodos mencionados a continuación:

- Forja
- Gas
- Arco eléctrico
- Resistencia

El proceso de soldadura TIG (Tungsten Inert Gas), También llamado de las formas;

- GTAW, Gas Tungsten Arc Weilding (ANSI/AWS A3.0, American Welding Society)
- Soldeo Por Arco Electrodo Wolframio y Gas Inerte (EN 24063)
- Soldeo Por Arco con Electrodo de Wolframio (UNE 14-100)
- Gas-Shielded Tungsten-Arc Welding (Reino unido)

Es parte del método de soldadura por Arco Eléctrico, este proceso se caracteriza por el uso del tungsteno aleado o puro como electrodo permanente, el cual no es consumible (Debido a su alta temperatura de fusión; 3.414°C), este acompañado de una protección de gas Argón y mediante el arco eléctrico generado entre el material y el electrodo, dan pie a uno de los procesos de soldadura existentes más versátiles [1] [2] [3].

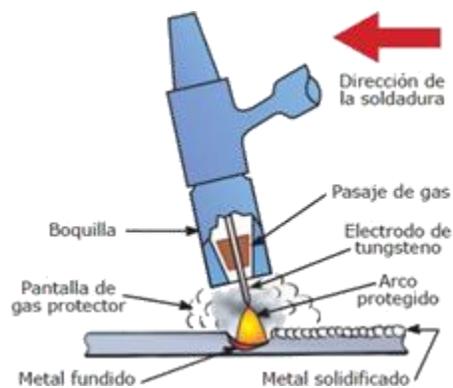


Fig. 1.1 "Proceso TIG".

Dentro de las ventajas de este proceso se encuentra la limpieza, ya que no libera escoria ni salpicaduras, puede ser llevado a cabo con o sin material de aporte y se puede llegar a conseguir una mayor calidad de soldadura dependiendo de la habilidad del soldador, lo que puede representar una desventaja, ya que la calidad de la soldadura estará directamente relacionada con la habilidad del soldador. Otra desventaja se presenta cuando el proceso se ve expuesto a grandes corrientes de aire, donde la calidad de la soldadura se vea disminuida por la corrosión. La solución a esta disyuntiva se encuentra dada por la automatización del

proceso de soldadura, ya que de esta forma se asegura un avance parejo al soldar y un ambiente controlado que evita la penetración del aire y por ende la contaminación del proceso. Otra ventaja de la automatización del proceso es el espacio requerido por la pinza para la realización del proceso de soldadura, ya que el soldador no solo requiere del espacio para tener acceso a la tubería, sino también el espacio necesario para posicionarse de la mejor forma. Por otro lado, los costos asociados a la capacitación del soldador disminuyen considerando que el operario solo debe aprender a montar y desmontar la pinza soldadora, dejando de lado el perfeccionamiento de alguna habilidad que vaya directamente relacionada con la calidad de la soldadura. También la soldadura manual GTAW requiere bastante tiempo, lo que representa un aumento del coste en el total del producto.

Por todo lo mencionado anteriormente y en conjunto a los antecedentes investigados dentro de este documento, es que decidió desarrollar el prototipo de un dispositivo soldador de tubos que realice de forma automática y mediante el proceso de soldadura TIG, la unión de dos tuberías.

1.2 Problemática

En la industria es imperativo el aseguramiento o al menos la estandarización de la calidad que se le quiere dar a los productos o servicios, es así como el proceso de soldadura TIG convencional pone en las manos del soldador la durabilidad y la calidad de la unión de los metales, las cuales pueden ser desfavorables en el caso en el que las variables controladas por el experto soldador no son las adecuadas. Por otro lado, el ambiente en el que se encuentran los metales juega un rol fundamental al momento de realizar la soldadura en lugares expuestos a humedad, viento y espacios reducidos, en el caso que el ambiente presente flujos de aire el gas protector que recubre la piscina de soldadura desviará su curso provocando el ingreso de partículas las cuales contaminarán el cordón y si el ambiente presenta elevados niveles de humedad la probabilidad de contaminar la unión aumentará. Por otro lado, al realizar una soldadura en un espacio que no permita una correcta implementación del proceso de soldadura TIG, el cordón quedará desprolijo aumentando aún más la probabilidad de que éste no cumpla la durabilidad y calidad requerida [2].

El tiempo de soldadura que se requiere para la unión de metales de menores dimensiones suele ser inferior al tiempo de preparación del equipo y de los materiales a unir, donde en el caso de la soldadura de tuberías, se puede requerir incluso del desmontaje de una sección considerable para disponer de una posición permisible y un espacio adecuado para la correcta realización del proceso de soldadura.

En función a lo previamente planteado es que se propone diseñar el prototipo de un dispositivo de soldadura TIG Automático, que mediante un ambiente controlado y un avance parejo de soldadura asegure la calidad y la durabilidad del cordón de soldadura.

1.3 Estado del Arte

En el mercado hay una gran variedad de marcas que ya diseñaron la soldadora de tubos, pero ninguna de éstas cumple con la característica de la universalidad del cabezal. Todas estas pinzas soldadoras, en la actualidad, requieren de una fuente de poder específica diseñada por el mismo proveedor de la pinza [4] [5] [6] [7] [8].

Existe una gran variedad de soldadoras orbitales, las cuales cumplen distintos tipos de tareas específicas, donde sus estructuras físicas determinan su funcionalidad. Ejemplos de los tipos de soldadoras orbitales son las maquinas soldadoras Liburdi, Calcificadas por “Dimetrics”[4].

Los modelos de soldadoras orbitales que se ofrecen en el mercado generalmente son:

- G Heads (Fig. 1.2): Para soldadura de tuberías mediante el proceso TIG, sirve para tuberías desde un diámetro exterior de 4 pulgadas. Esta requiere de un anillo de rodadura, el cual es la guía al momento de realizar el proceso de soldadura [4].



Fig. 1.2“Cabezal tipo G” [4].

- H Heads (Fig. 1.3): Al igual que las G Heads sueldan tuberías mediante proceso TIG, requiere de un anillo guía para la soldadura, este cabezal es más universal en sus repuestos que el modelo G.



Fig. 1.3“Cabezal Tipo H” [4].

- I Heads (Fig. 1.4): Para soldaduras de tipo espiral.



Fig. 1.4“Cabezal tipo I” [4].

- J Heads (Fig. 1.5): Diseñado específicamente para aplicaciones de tuberías de diámetro más pequeño, donde las holguras radial y axial están restringidas, el "cabezal de soldadura J" requiere una holgura radial entre tuberías con un diámetro de 1.5 "(38 mm) a 6.7" (170 mm).



Fig. 1.5 "Cabezal tipo J" [4].

- K Heads (Fig. 1.6): Diseñada para aplicaciones de tubería mediante el proceso de soldadura MIG.



Fig. 1.6 "Cabezal tipo K" [4].

- L Heads (Fig. 1.7): Está diseñado específicamente para soldar tubos desde 1.587mm a 219.07mm de diámetro exterior.



Fig. 1.7 "Cabezal tipo L" [4].

- M Heads (Fig. 1.8): Capacidad económica de funcionamiento completo para la soldadura.



Fig. 1.8 "Cabezal Tipo M" [4].

- P Heads (Fig. 1.9): Soldadura de tipo orbital frontal.



Fig. 1.9“Cabezal tipo P” [4].

Algunas otras marcas que ofrecen este tipo de productos son:

- Shanghai Grandfly Industrial Co., Ltd (GFI TOOL) [5].
- Arc Machines, Inc [6].
- Otto Arc system, inc [7].
- +Orbitalum [8].

El cabezal tipo L realiza el proceso adecuado para los requerimientos de la soldadora orbital, pero a su vez, tiene el valor agregado de la aislación del proceso cuando este se está llevando a cabo, mediante el soporte que asegura el no ingreso de corrientes de aire que puedan afectar la calidad de la soldadura y también cumple con los requerimientos dimensionales respecto los tamaños de las tuberías que se desea soldar. Por otro lado, se realizó un análisis técnico de las patentes encontradas en la investigación.

Aparato Cabezal Soldador, Patente U.S. N°3,688,069 por Kazlauskas

Esta patente aborda la mejora en base a la eliminación de la necesidad de desarmar el aparato para montarlo sobre las tuberías a unir, mejor la patente U.S. N° 3,400,237 por G. Kazlauskas. La causa de esta mejora es debida a que la patente anteriormente mencionada no considera los aspectos de falla de los mecanismos debido al desmontaje posterior al proceso de soldadura. El mecanismo no puede ser manipulado con facilidad por su alta temperatura lo que puede provocar la caída de partes las que se pueden dañar, por otro lado, el precio de las piezas es alto debido a su mecanización especial. Se estudiará el sistema de inyección de gas, el mecanismo de transmisión del movimiento al electrodo y el objetivo del sistema de microswitch utilizado para poner en cero el sistema [9].

Como se ve en la Fig. 1.11, el sistema posee dos válvulas de similares características, 120 y 122, estas se activan cuando el mecanismo deja de ser presionado por el engranaje soldador 28, el cual posee las hendiduras 126 y 128 para esto. Cuando un mecanismo es desactivado por la presencia de alguna de las hendiduras, este permite el ingreso del gas Argón el cual es dirigido por medio de los canales internos del engranaje 28 al electrodo de tungsteno 62. Las válvulas 134 y 136 cumplen el fin de inyectar el gas en una sola dirección, por lo que, si 136 está inyectando el gas hacia 62, 134 se bloquea y viceversa. En la Fig. 1.12 se puede observar la conexión realizada para el flujo del gas [9].

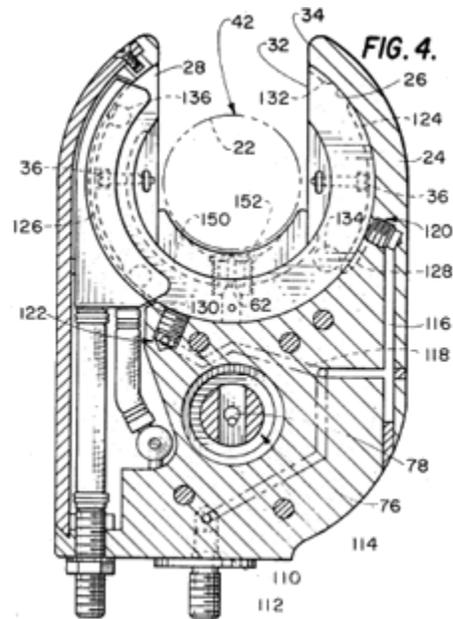


Fig. 1.12 "Conector flujo de gas" [9].

Dispositivo de Sujeción, Patente US N°4,868,367, Por Benway et al.

Como los distintos fabricantes de tuberías realizan la manufactura de su producto con diferentes rangos de error, el dispositivo que sostiene las tuberías debe estar adecuado para soportar un rango fijo. Esta patente, US N°4,868,367, trata del dispositivo de sujeción de piezas cilíndricas con un rango de radio dentro de una tolerancia específica. El sistema sujeta las tuberías mediante la variabilidad del diámetro de superficie de sujeción y por medio del intercambio de los collarines los cuales determinaran el diámetro de la tubería que se desea sujetar [11].

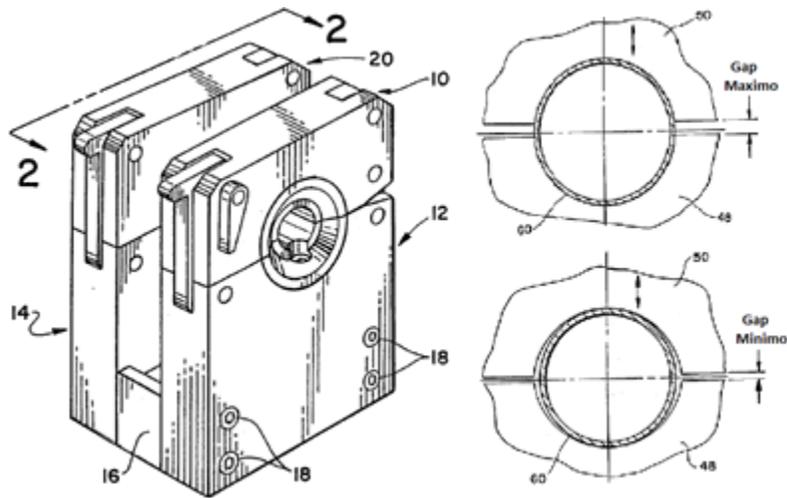


Fig. 1.13 "Sistema de Sujeción" [11].

Como se puede ver en la Fig. 1.13, el sistema está diseñado de la forma en que el dispositivo permita la sujeción de tuberías con un diámetro el cual puede variar dentro de un rango determinado. Este sistema consta de dos pinzas principales idénticas, 12 y 14, unidas mediante un soporte 16 que ahueca el sistema, lo que permite introducir entre las pinzas de sujeción el dispositivo de soldadura [11].

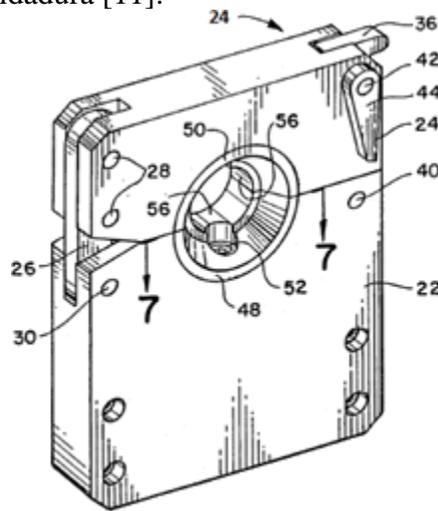


Fig. 1.14 "Perspectiva pinza de sujeción" [11].

La pinza consta de dos mitades opuestas, 22 y 24, las cuales mediante el sistema de bisagras 26 y el sistema de gancho 36 soportan las tuberías en la medida en que el sistema se encuentre cerrado. La tubería 60 se introduce quedando aprisionada por las 2 caras (opuestas entre sí), 22 y 24, las cuales la soportaran mediante presión ejercida por el seguro 36. La medida de los collarines requeridos para sostener las tuberías está dada por el diámetro de las tuberías que se desean sujetar [11].

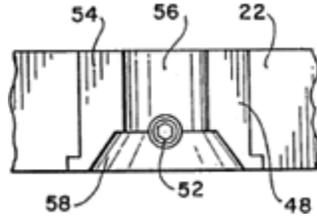


Fig. 1.15 "Soporte collarín" [11].

La Fig. 1.5 es una vista tomada en la línea 7-7 de la Fig. 1.4, en la cual se aprecia el sistema el cual fija los collarines, 50 y 48 (Fig. 1.14), a cada mitad de pinza, el tornillo de cabeza hueca 52 permite soportar y liberar el collarín al cual se le determina su medida mediante el diámetro de la tubería.

El diámetro de la superficie de agarre 56 de la tubería está determinado por el diámetro máximo de tolerancia ($D + 0.005 \text{ Pulg}$), el cual es el diámetro nominal más la deformación máxima que este puede alcanzar. Por otro lado, el collarín se diseña para soportar el diámetro nominal D de la tubería con un gap mínimo de 0.005 Pulg. , la Fig. 1.13 muestra en la imagen superior derecha una tubería dilatada hasta su máximo rango de desviación, en la imagen inferior derecha se muestra una tubería sostenida por el cabezal mediante la medida nominal de diseño del soporte, con un gap mínimo que determina la desviación mínima que pudiera estar sufriendo la tubería [11].

Cabezal soldador, Patente US N°3,461,265, Por L. W. Spiro

Esta patente aborda la mejora de los sistemas de soldadura orbital presentados en las patentes [12] y [13], las cuales fueron realizadas por R. G. Rohrberg et al. En este documento, el dispositivo cuenta con la característica de ser más pequeño, lo que da como resultado un dispositivo más versátil que puede ser llevado a instalaciones atestadas y complejas donde el espacio de acceso es mínimo. Por otro lado, un problema inherente a los dispositivos de soldadura de la técnica anterior se refiere a sus múltiples partes que complican indebidamente los dispositivos [14].

Un dispositivo de soldadura orbital al cual posee una particular forma de sujeción de la tubería en forma de tijera, la que funciona mediante un cierre con pasadores de pivote 22 y 32 donde cada uno de estos sostiene una mitad de carcasa exterior 20 y 30 las que se encuentran ahuecadas y contienen en su interior el dispositivo de soldadura [14].

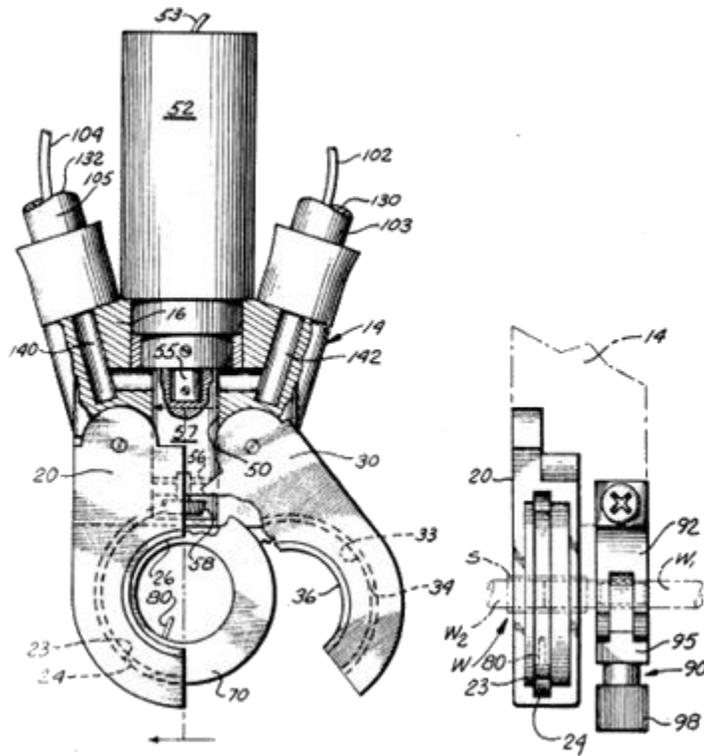


Fig. 1.16 "Soldadora Orbital" [14].

El posicionamiento del motor 52 es vertical, el cual es alimentado de potencia eléctrica mediante 53, al ser alimentado 52, el movimiento de este se transmite por medio de los engranajes 57 y 58 al engranaje soldador 70 [14].

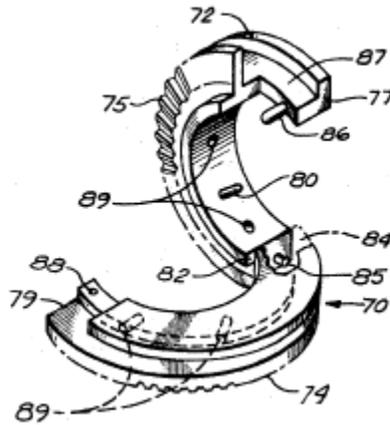


Fig. 1.17 "Engranaje Soldador" [14].

El engranaje soldador 70, se puede ver en la Fig. 1.17, la cual muestra la forma en la que este está diseñado. Este engranaje consta de dos partes, 72 y 74, unidas por 82 y 84 conectadas

mediante el pasador 85 de rotación. Este sistema se asegura para formar el engranaje soldador 70 mediante la alineación de 77 y 79 e insertando 86 en 88.

Por la cara posterior del sistema de sujeción analizado con anterioridad, se encuentra el sistema soldadura, el que posee otro sistema diferente de sujeción del tubo, como muestra la Fig. 1.18[14].

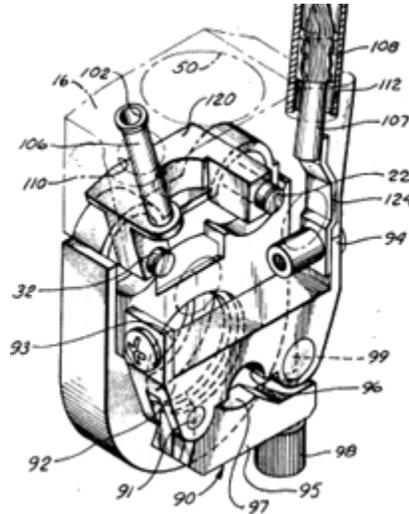


Fig. 1.18 "Cara Posterior Soldadora Orbital" [14].

Este sistema de sujeción consta de una abrazadera 90 sujeta mediante el pasador 91 a la base 92, que se encuentra apernada mediante 93 y 94 al bloque 14. Este sistema se asegura mediante el brazo 95, el cual es sostenido por un tornillo 98 que enrosca en la tuerca 99, cerrando el sistema y sujetando mediante las superficies de agarre 96 y 97. Para suministrar potencia eléctrica al electrodo 80, una línea eléctrica 102 con un potencial negativo y una línea eléctrica 104 con un potencial positivo conectan al dispositivo de soldadura. El espacio anular entre la línea eléctrica 104 y la carcasa 105 constituye un paso 132 para purga de gas que pasa a través de las aberturas entre los cables eléctricos individuales y luego en el centro del tope hueco 107. El puente 120 está formado integralmente con un par de pasadores, 22 y 32, que sirven como pasadores de pivote para las conchas de almeja 20 y 30. Por lo tanto, la corriente pasa directamente a los caparazones de almeja 20 y 30, que a su vez conducen la corriente al anillo 70. Hay numerosos puntos de acoplamiento físico entre la superficie exterior del anillo 70 y las superficies interiores de las almejas según lo definido por los canales 23 y 33. Desde el anillo 70, la corriente se transmite al electrodo 80 permitiendo que se golpee un arco de soldadura entre él y la pieza de trabajo W. [14].

En los documentos desarrollados en este capítulo se pudo determinar condiciones para la etapa de diseño de la pinza soldadora.

Datos para tener en cuenta:

- El diseño debe contener un engranaje el cual no requiera del desmontaje de éste para insertar la tubería al dispositivo, ya que de lo contrario la manipulación del dispositivo post proceso de soldeo puede llevar a quemaduras y falla de piezas, para eso se diseña un engranaje en forma de U [9].
- Al momento de realizar la soldadura no se asegura que las tuberías se encuentren libres de anclaje (original de las tuberías), por lo tanto, si el dispositivo considerara mover la tubería para realizar la soldadura, llevaría a la necesidad estricta de que las tuberías deben encontrarse libres de anclaje al momento de realizar el proceso. Es por esto, que el dispositivo a diseñar debe realizar la soldadura mediante un “electrodo móvil” el cual gire en torno a la tubería.
- El dispositivo debe tener un sistema de inyección de gas el cual lo dirija al lugar en el que se está realizando el arco eléctrico, ya que si el gas se desvía causaría impurezas y penetración del oxígeno lo que genera oxido.
- El dispositivo debe contener un sistema de sujeción el cual permita el ajuste de las tuberías presentándolas frente a frente justamente en la línea de soldeo, por lo tanto, debe contener dos secciones, una para la sujeción de cada tubería.

El sistema de inyección de potencia eléctrica debe diseñarse de la forma en que el contacto entre el engranaje soldador y la fuente no se interrumpa, para esto se puede implementar un sistema parecido al de [14], debe tomarse en cuenta que el engranaje soldador estará diseñado en forma de U para permitir el ingreso de los tubos al momento de anclar el dispositivo en ellos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar el prototipo de un dispositivo posicionador automático, el cual sea capaz de soldar mediante el proceso TIG un tubo con un diámetro, espesor y material específicos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar el estado del arte para obtener información relevante de las tecnologías ya existentes que pueden ser implementadas para el desarrollo del diseño de la pinza.

- Analizar el diseño y la estructura para que las piezas cumplan con las siguientes funciones:
 - a. Transmitir el gas de protección a la soldadura.
 - b. Transmitir la corriente mediante la estructura de la pinza.
 - c. Realizar las estructuras adecuadas para la transmisión de movimiento.
 - d. Realizar el diseño para disminuir los riesgos asociados a la soldadura.
- Seleccionar el motor para la realización del proceso de soldadura en conjunto con los dispositivos de control que requiera este.
- Realizar el cálculo de engranajes para cumplir la velocidad de avance estándar de la soldadura de acero austenítico mediante cierto rango corriente, el que será estandarizado dependiendo de las condiciones a las que se verá implementado el proceso TIG.
- Analizar y seleccionar los tipos de terminales a utilizar, los cuales deben ser compatibles con los terminales comúnmente utilizados para el proceso de soldadura TIG.
- Analizar las características que debe tener el dispositivo soldador para dar cumplimiento a los requisitos de seguridad.
- Determinar los materiales con los que deben estar diseñados los componentes del dispositivo soldador.
- Realizar el diseño cumpliendo los puntos anteriormente mencionados en inventor.
- Realizar el código para que la programación cumpla los modos de trabajo que se le instalaran al controlador del dispositivo mediante un software seleccionado.
- Realizar el circuito requerido para los modos de operación de la pinza.

1.5 Alcances y Limitaciones

1.5.1 Alcances

Diseñar el prototipo de un dispositivo posicionador para llevar a cabo el proceso de soldadura orbital, el cual sea capaz de soldar tubos mediante el proceso soldadura TIG, con una tubería de diámetro 1,25 pulgadas, un espesor de a lo más 4mm, para una tubería de acero austenítico. El diseño del dispositivo debe contener material documentado para asegurar, a nivel de prototipo, el funcionamiento de este.

1.5.2 Limitaciones

El diseño del prototipo de esta pinza contempla solo el desarrollo de un dispositivo posicionador, por lo tanto, la fuente de alimentación para el proceso de soldadura se establece como una de las limitaciones del desarrollo de este dispositivo. Por otro lado, las limitaciones de diseño contemplan ciertos componentes los cuales pueden ser conseguidos con mayor facilidad en el mercado, dentro de estos componentes se encuentran:

- Fuente 12V
- Módulos de drivers para controlar motores de paso.
- Cables, mangueras y conectores para soldadura TIG.

Por otro lado, están las limitaciones que conllevan un diseño:

- Compra de materiales
- Montaje
- Pruebas

En cuanto a la programación no se desarrollará un código para generar la salida requerida en el A4988 (descrito en el pto. 5.3), ya que Arduino contiene la función `Tone()` (explicada en el pto. 7.3), la cual genera una frecuencia mediante una señal cuadrada que puede ser utilizada como señal de activación de cada paso [15] [16].

El criterio que se desarrollará para establecer la implementación de un sistema de enfriamiento por líquido está determinado por pruebas empíricas, las cuales no requieren (a nivel de prototipo) un modelo de calentamiento, ya que solo se pretendió establecer valores de temperatura que se alcanzaban en el proceso de soldadura de forma experimental.

Capítulo 2. Análisis del proceso de soldadura TIG

2.1 Introducción

En el presente capítulo se establecen los parámetros asignados por el profesor guía, don Ambrosio Martinich, los que darán el puntapié inicial para la realización del análisis que establecerá el tipo de máquina TIG a utilizar, la polaridad del electrodo, el electrodo, el valor de amperaje y un estudio general del proceso de soldadura TIG.

2.2 Parámetros Asignados por el Profesor

- Diámetro exterior de la tubería de 3,175 cm.
- Espesor de la tubería de no más de 4 mm.
- Material acero austenítico.

2.3 Tipos de Máquinas TIG

Los tipos de máquinas existentes para la soldadura TIG son las de Corriente Continua (CC) o Corriente Alterna (CA), donde los electrodos para las máquinas de CC pueden cambiar de polaridad, dando como resultado una distinta distribución del calor entre los distintos dispositivos soldadores, como muestra la Fig. 2.1[2].

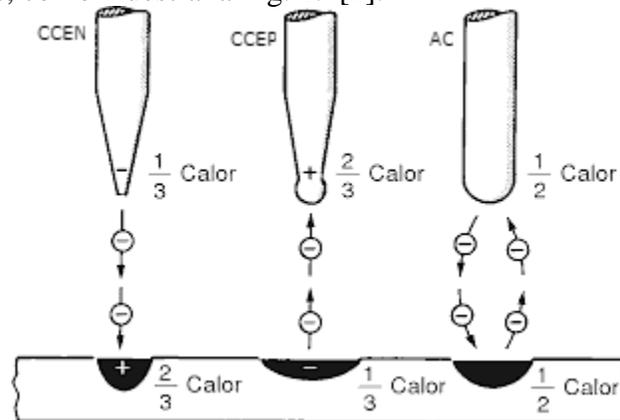


Fig. 2.1 “Distribución del calor entre el electrodo y el trabajo de cada tipo de corriente”.

La CCPD o CCEN, concentra alrededor de dos tercios de su calor de soldadura en la pieza y el tercio restante en el tungsteno. Una considerable aportación de calor a la soldadura ocasiona una mayor fusión o una penetración más profunda en el metal base. Un nivel de calor más bajo en el Tungsteno significa que se puede utilizar el de menor tamaño sin sobrecalentarlo. El electrodo de menor tamaño puede ahorrar tiempo, dinero y también Tungsteno, ya que la fabricación y reparación del electrodo contempla menor cantidad de material y menor tiempo de reparación [2].

La CCPI o CCEP, concentra alrededor de dos tercios de su calor sobre el electrodo y el tercio restante en el material. Una gran aportación de calor al electrodo genera un mayor desgaste, una menor penetración en la piscina de soldadura y requiere de un nivel superior de corriente para penetrar de igual manera que CCEN. Además, No es conveniente tener la mayor cantidad de calor sobre el electrodo, ya que de esta manera el Tungsteno tendría que soportar temperaturas más elevadas que las que se requieren para fundir el Acero Austenítico mediante CCEN, provocando un mayor desgaste en el electrodo y un mayor sobrecalentamiento en la pinza. El trabajo adecuado para las máquinas soldadoras TIG CCEP, es aquel que requiere de menor temperatura de fusión y mayor controlabilidad de la temperatura del electrodo. Cabe destacar que la mayoría de los equipos TIG CC son del tipo electrodo negativo [2] [3].

La AC distribuye la de relación de temperatura de manera tal que esta contiene el mismo nivel de calor (Material-Electrodo), esto quiere decir que la mitad del calor generado está contenida en el material y la otra mitad en el electrodo. Para la realización de la soldadura automática mediante el proceso de soldadura TIG, se requiere disminuir el nivel de temperatura que debe soportar el electrodo, ya que éste sufre de mayor desgaste e irradia su temperatura al resto de los componentes, es por esto por lo que se decidió que el equipo seleccionado para realizar el trabajo de la pinza soldadora es un TIG CCEN [2] [3].

En general, la capacidad de transportar corriente en CCEN es alrededor de diez veces superior que en CCEP [2] [3].

Tipo de corriente	C.C.		C.A.
Polaridad	Directa	Inversa	-
Flujo de electrones			
Aspecto de la penetración			
Acción decapante	No	Sí	Sí, una vez durante el semiciclo positivo
Balance calórico	70% en el material, 30% en el electrodo	30% en el material, 70% en el electrodo	50% en el material, 50% en el electrodo
Penetración	Profunda y estrecha	Ancha y menos profunda	Media
Comportamiento del electrodo	Excelente Ej. 400A 3,2mm	Pobre Ej. 30A 3.2mm	Buena Ej. 225A 3.2mm

Tabla 2.1 "Características de los tipos de soldeo para sus diferentes corrientes" [3].

Los componentes de las maquinas soldadoras CCEN están dados por:

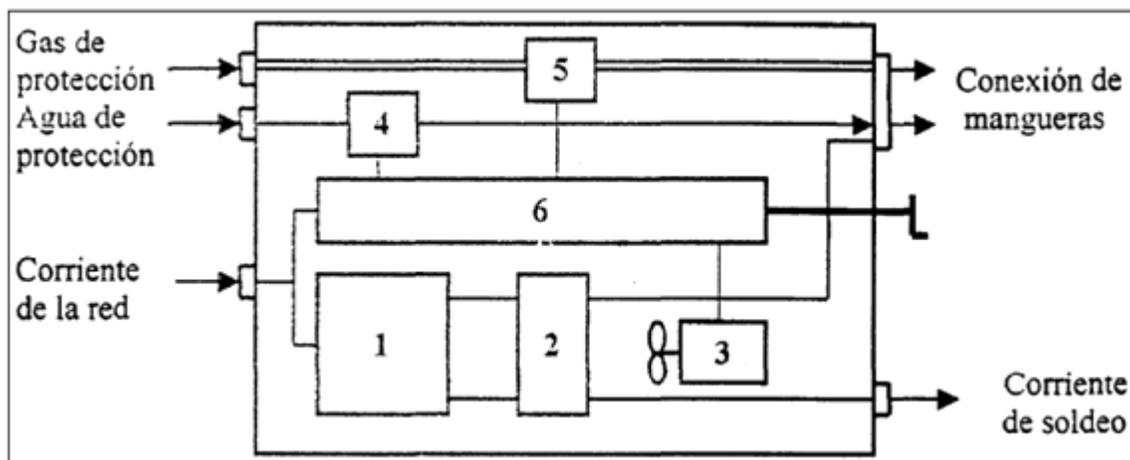


Fig. 2.2“Componentes de equipo TIG CCXX” [3].

1. Transformador: Convierte la corriente de la red en la corriente adecuada para el soldeo, disminuyendo la tensión de la red e incrementando la intensidad [3].
2. Rectificador: Convierte la corriente alterna en corriente continua [3].
3. Ventilador: Enfría el transformador y el rectificador para evitar la destrucción por sobrecalentamiento [3].
4. Controlador del agua de refrigeración: Controla la presión del agua de refrigeración [3].
5. Válvula magnética del gas de soldeo: Apertura y cierre del gas de protección mediante medios electromagnéticos [3].
6. Módulo de control: Encendido y apagado de la corriente de soldeo, regulación de la corriente de soldeo, control del gas de protección con tiempo ajustable pre y post flujo, apagado de la corriente de suelde en caso de falta de agua, control de otras funciones [3].

La selección del tipo de maquina a utilizar también puede establecerse por el material que se va a trabajar mediante lo establecido por la literatura, como explica la tabla 2.2 [2] [3] [17].

Metal a soldar	Fuente de potencia	
	Preferida	Opcional
Aluminio	CAhf	CC
Latón y aleaciones	CC directa	CAhf
Cobre y aleaciones	CC directa	-
Acero al carbono	CC directa	CAhf
Acero inoxidable	CC directa	CAhf

Tabla 2.2"Tipo de corriente para cada material a soldar mediante el proceso TIG" [17].

Como se aprecia en la Tabla 2.2, el tipo de corriente preferida es la CCEN, ya que los materiales a fundir presentan un elevado índice de fusión, contrario al caso del aluminio, donde este se puede fundir tan solo a 660°C y requiere de un equipo soldado diferente.

2.4 Ángulo de soldadura

La AWS ha definido principalmente dos tipos de soldadura, G y F. La soldadura G está caracterizada por realizarse de forma orbital, contraria a la de tipo F, la que se lleva a cabo de manera lineal. Dentro de la soldadura G hay una subdivisión, la cual corresponde a las siguientes cinco posiciones:

- 1G Horizontal con giro: el tubo se gira, continua o intermitentemente, para que la soldadura se realice entre 0° y 15° de la parte superior del tubo [2].

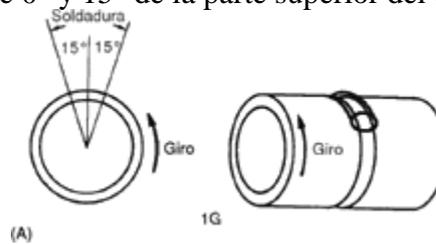


Fig. 2.3“Soldadura 1G” [2].

- 5G Fija Horizontal: el tubo está en posición horizontal y la soldadura se hace verticalmente, alrededor del tubo [2].

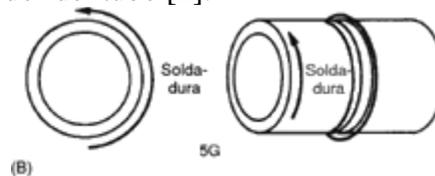


Fig. 2.4“Soldadura 5G” [2].

- 2G Vertical: el tubo está en posición vertical y la soldadura se hace horizontalmente, alrededor del tubo [2].



Fig. 2.5“Soldadura 2G” [2].

- 6G Inclinada: el tubo está fijo, tomando un ángulo de 45° , y la soldadura se hace alrededor del tubo [2].

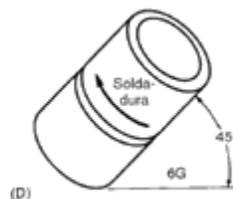


Fig. 2.6“Soldadura 6G” [2].

- 6GR Inclínada con anillo de restricción: el tubo está fijo, formando un ángulo de 45°, y se coloca un anillo de restricción alrededor del tubo, debajo de la ranura de la soldadura [2].

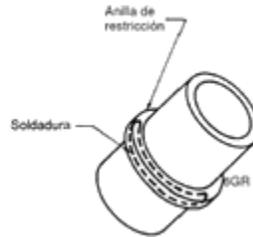


Fig. 2.7“Soldadura 6GR” [2].

Para realizar la soldadura TIG automatizada no es posible utilizar un tipo soldadura estandarizada, ya que el ángulo de posicionamiento de la tubería está determinado por la disposición en la que se encuentre la tubería al momento de realizar la soldadura. Para el caso de la pinza soldadora, el proceso se realizará perpendicular a la tubería independiente en el ángulo que esta se encuentre la tubería respecto el suelo, siendo una mezcla entre la soldadura 5G y 2G, ya que estas se realizan de forma horizontal y vertical mediante el giro del electrodo con la tubería fija. Otro punto importante para la decisión del ángulo de soldadura esta dado por la correcta aplicación del gas protector, al poseer un mayor ángulo la probabilidad de que el aire sea arrastrado al interior de la boquilla aumenta.

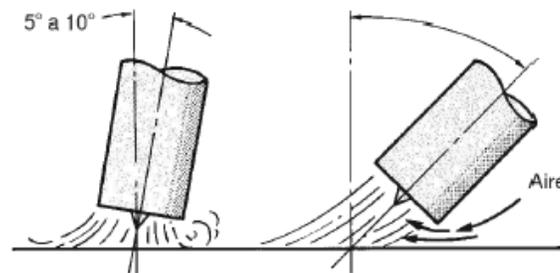


Fig. 2.8“Penetración de aire en soldadura” [2].

2.5 Antorcha

El cuerpo del soplete, o cabeza de soldar, se compone de una parte interior de metal rodeada por una cubierta de plástico resistente al calor y a las altas temperaturas y, además, aislante. La parte interna de metal se fabrica normalmente de cobre o aleaciones de éste, por ejemplo, latón. En ambos casos proporcionan una conductividad eléctrica y térmica excelentes. La conductividad eléctrica buena es necesaria para transportar altas corrientes de soldadura y térmica para permitir la disipación del exceso de calor de la soldadura [2].



Fig. 2.9“Antorcha TIG” [18].

La antorcha soldadora para la soldadura TIG convencional se encuentra constituida por las siguientes piezas:

- **Mordaza:** es la pieza que sujeta al Tungsteno cuando se ajusta el capuchón y crea el contacto eléctrico necesario para una buena transferencia de la corriente de soldadura [18].
- **Porta Mordaza:** se atornilla en la antorcha, aloja varios tamaños de electrodos de Tungsteno, de 0,02 a ¼ de pulg., así como sus respectivas mordazas [18].
- **Copa Cerámica:** montada en el cabezal de la antorcha, esta pieza dirige el gas hacia la zona de soldadura [18].
- **Difusor de Gas:** reemplaza la pieza porta mordaza para aumentar la cobertura de gas protector y reducir la turbulencia [18].
- **Capuchón:** es la pieza que presiona el extremo posterior de la mordaza para forzarla contra la pieza porta mordaza, mantiene el electrodo en su posición y sella el cabezal [18].

2.6 Tungsteno

EL Tungsteno es un metal cuyas propiedades lo convierten en una elección ideal para el uso como electrodo no consumible. Sus principales propiedades, para este propósito, son que es un buen conductor eléctrico y tiene una temperatura de fusión elevada respecto los demás metales (3414°C) [1] [2].

La identificación de los diferentes tipos de electrodos de tungstenos está dada por la tabla 2.3 [13].

Tipo de electrodo	Identificación	AWS
Tungsteno puro	Verde	EWP
Tungsteno-Torio 0,8-1,2%	Amarillo	EWTh-1
Tungsteno-Torio 1,7-2,2%	Rojo	EWTh-2
Tungsteno-Zirconio 1,25-0,4%	Café	EWZr
Tungsteno-Lantano 1,0%	Negro	EWLa-1
Tungsteno-Lantano 1,5%	Dorado	EWLa-1,5
Tungsteno-Lantano 2,0%	Azul	EWLa-2
Tungsteno-Cerio 1,8-2,2%	Naranja	EWCe-2

Tabla 2.3 "Tipos de Tungsteno" [19].

El electrodo utilizado comúnmente en soldadura TIG para un material base específico, está determinado por la tabla 2.4 [19].

Material	Corriente	Penetración	Gas	Electrodo
Aluminio	CAhf	Media	Argón	W
Acero Inoxidable	CCEN	Alta	Argón	W-Th
Acero dulce	CCEN	Alta	Argón o Helio	W-Th
Cobre	CCEN	Alta	Argón o Helio	W-Th
Níquel	CCEN	Alta	Argón	W-Th
Magnesio	CAhf	Media	Argón	W

Tabla 2.4 "Selección del electrodo" [19].

Las propiedades del tungsteno pueden verse mejoradas escogiendo la forma ideal para el trabajo requerido, lo que afecta a la temperatura y a la erosión de éste. Mediante CCEN, la forma punteada concentra el arco tanto como sea posible y mejora su inicio ya sea con una descarga eléctrica corta de alto voltaje o con un toque inicial. Dado que la CCEN no lleva tanto calor a la punta, es relativamente fría, estable y puede superar un uso extenso sin dañarse [2] [3].

Los tres de corrientes generadas por las máquinas soldadores se relacionan con un tipo de punta específico, como muestra la tabla 2.5 [2] [3].

CCEN	Punteada	
CCEP	Punteada redondeada	
CA	Punteada pero redondeada	

Tabla 2.5 "Tipos de puntas para el Tungsteno" [2].

Para el caso de CCEN el ángulo de la punta afectará a la penetración del arco en el material a soldar y a la controlabilidad de este, pudiendo ser cónico o tener una punta plana en el extremo, como muestra la Fig. 2.11. Su longitud suele ser tres veces el diámetro del tungsteno, como muestra la Fig. 2.10[2] [3].

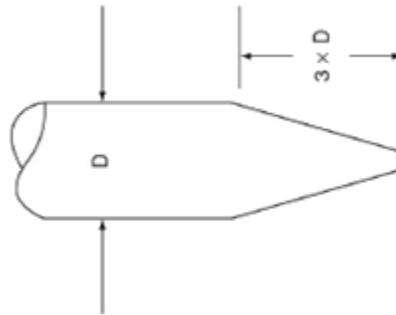


Fig. 2.10“Relación Diámetro/Punta para el Tungsteno” [2].

Pero todo lo anteriormente mencionado dependerá de la profundidad y del ancho del cordón que se le quiera dar a la soldadura, como se muestra en la Fig. 2.11[2].

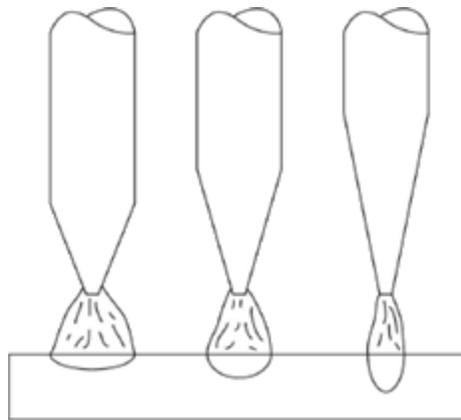
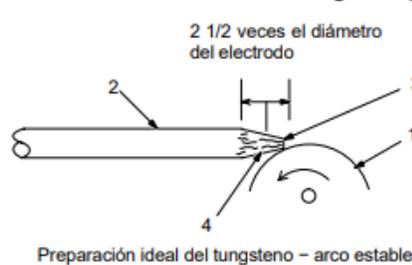
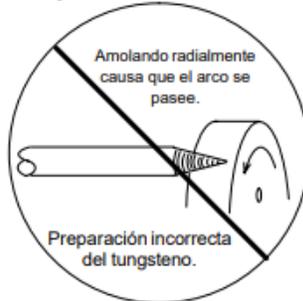


Fig. 2.11“Profundidades de penetración de la soldadura” [2].

El tipo de punta puede ser escogido al momento de realizar la soldadura, ya que la penetración que se requiera a la que llegue el proceso dependerá del espesor del material a soldar.

El método de preparación del electrodo para CCEN se encuentra descrita por la Fig. 2.12[2] [20].

A. Preparando el tungsteno para soldadura CD electrodo negativo (DCEN) o soldadura CA con máquinas tipo invertidor.



- 1 Rueda de amolar
- Esmerile el extremo del tungsteno en una rueda de amolar de grano fino y duro antes de soldar. No use la rueda de amolar para otros trabajos, ya que el tungsteno puede contaminarse causando calidad de soldadura inferior.
- 2 Electrodo de tungsteno
- 3 Parte plana
- El diámetro de esta parte plana determina la capacidad del amperaj
- 4 Esmerilamiento recto
- Amólole en la dirección longitudinal, **no radial**.

Fig. 2.12"Preparado del Tungsteno" [20].

2.7 Gas Protector

La creación de atmosferas inertes es fundamental en muchas operaciones industriales, como el mantenimiento de depósitos de combustible, hornos, etc. En general consiste en evitar algún tipo de reacción químicas con cualquier otro compuesto en el medio [2] [3] [5] [21].

Para el proceso GTAW hay varios tipos de gases protectores que pueden ser utilizados para evitar el ingreso de partículas que puedan disminuir la calidad del cordón de soldadura:

- Argón (Ar)
- Helio (He)
- Nitrógeno (N)
- Mezcla de los anteriores.

Debido a su pureza, densidad, costo e ionización, hoy en día el gas más utilizado en el proceso de soldadura TIG es el Argón, por lo que la mayor cantidad de máquinas soldadoras TIG trabajan con este. El flujo de gas con el que se debe alimentar al proceso de soldadura viene determinado por la maquina a utilizar, la cual debe cumplir el mínimo necesario indicado por la tabla 2.6 [22].

Proceso	Flujo de gas $\left[\frac{mm^3}{hr}\right]$
MIG sólido	0,8-1,2
MIG tubular	1,0-1,4
TIG	0,5-1,0

Tabla 2.6"Flujo de Gas" [22].

El rango de flujo de gas a inyectar está determinado por la unidad de medida m^3/hr pero los instrumentos que se instalan para medir el flujo lo hacen en l/hr , por lo tanto, el rango de flujo de gas queda determinado por:

$$0.5 \left[\frac{m^3}{hr}\right] = 0.5 * \frac{1000}{60} \left[\frac{l}{min}\right] \rightarrow 8.3 \left[\frac{l}{hr}\right] \quad (1)$$

$$1 \frac{m^3}{hr} = \frac{1000}{60} \left[\frac{l}{min}\right] \rightarrow 16.7 \left[\frac{l}{hr}\right] \quad (2)$$

En el mercado se encuentran cableados estandarizados para el proceso de soldadura TIG dependiendo de los amperajes máximos que puede surtir la máquina soldadora, como el caso del cable WP-26, el que soporta hasta 200A y contiene una manguera interior para el transporte del gas, en consecuencia, el sistema de inyección de gas interno del dispositivo soldador debe contener canales de igual tamaño que el cableado estándar.

Todas las maquinas soldadoras TIG poseen sistemas que aseguran un purgado y en consecuencia la protección de la soldadura como muestra la Fig. 2.13 [2].

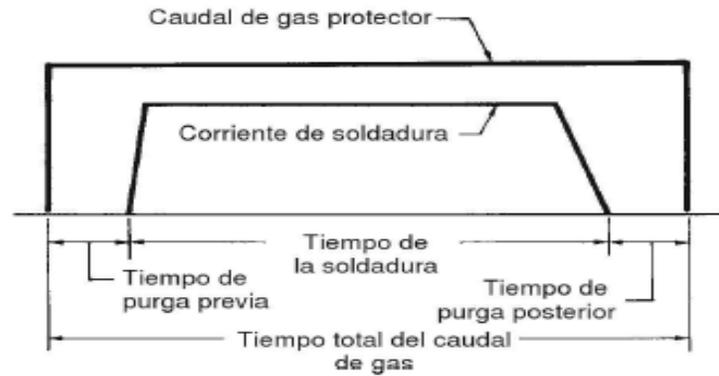


Fig. 2.13 "Caudal de Gas al Soldar" [2].

2.8 Boquilla

La boquilla no es requerida para el cabezal soldador, ya que mediante orificios direccionados a el extremo del electrodo se puede llegar de manera sencilla, direccionada y por medio de un ambiente controlado dentro del cabezal, como se puede ver en el capítulo 7 que analiza el estado del arte de la tecnología TIG automática para soldadura orbital.

2.9 Corriente y Velocidad de avance

Le intensidad de corriente viene dada por el espesor del material, el cual va a requerir de una velocidad de avance especifica que se encuentra estandarizada mediante la Tabla 2.7[3].

Espesor del material	0,5 mm	4 mm
Velocidad de Avance	6 mm/s	1,5 mm/s
Intensidad Base y de pulso	12 a 45 A	50 a 200 A

Tabla 2.7 "Corriente y Velocidad para soldadura TIG de Acero Inox."

La velocidad de avance y la intensidad de corriente van a variar dependiendo de la técnica del soldador o del tipo de máquina soldadora, por lo general se estandariza en ciertos rangos como los especificados anteriormente, ya que los distintos tipos de máquinas soldadoras generan distintos tipos de pulsos tanto para inicializar el arco como para realizar la soldadura. El voltaje utilizado comúnmente de soldadura TIG DC es de hasta 95V [23] [24] [25] [26]. La selección del diámetro del tungsteno se ve definida por la cantidad de amperes a utilizar en el proceso de soldadura, como se puede desprender de la tabla 2.8 [17].

Corriente [A]	Diámetro del electrodo	
	Pulgadas	Milímetros
Hasta 15 A	0,010	0,25
5 a 20	0,020	0,51
15 a 80	0,040	1,02
70 a 150	1/16	1,59
150 a 250	3/32	2,38
250 a 400	1/8	3,17
350 a 500	5/32	3,97
500 a 750	3/16	4,76
750 a 1000	¼	6,35

Tabla 2.8"Diámetro del Tungsteno por Amperaje" [17].

2.10 Conclusión

Para el diseño de la soldadora orbital de tubos se realizó un análisis de los tipos de máquinas disponibles y las tecnologías de soldadura TIG disponibles en el mercado, de esta forma se determina las características que debe poseer la máquina. Los parámetros y componentes que se requieren para la pinza soldadora están descritos en la tabla 2.9.

Espesor material	4 mm
Diámetro tubo	3,175 cm
Material	Acero Austenítico
Corriente aproximada	50 a 200 A
Electrodo	EWTh
Diámetro del electrodo	1.59 a 2.38 mm
Boquilla	No requiere
Velocidad de avance	6 mm/s
Tipo de maquina	CCEN
Angulo del Tungsteno respecto material	90°, 2G combinado con 5G
Gas protector	Argón
Tipo de Cable	WP-26 200A

Tabla 2.9"Parámetros y componentes obtenidos del Capítulo 1".

Capítulo 3. Análisis Previo al Diseño

3.1 Introducción

En este capítulo se abordan los estudios previos al desarrollo del diseño de; la programación, la creación del circuito y la alimentación de gas. En consideración con lo anteriormente mencionado el dispositivo por diseñar estará compuesto de las siguientes partes:

- **Cuerpo de soldadura o alma plástica(interno):**
Cuerpo sólido seccionado en tres partes, el cual contendrá en su interior un sistema de transmisión por engranajes que estará diseñado por cuatro de estos, uno será el engranaje motor que estará conectado directamente al eje del motor y transmitirá el movimiento mediante dos engranajes locos que aseguran una conexión mínima de uno de ellos en el transcurso del proceso de soldadura. Por otro lado, existirá un engranaje soldador del tipo U, el cual cumplirá la función de ser el contacto electrodo-fuente y a su vez cumplirá con la velocidad de avance necesaria para producir la soldadura de un acero austenítico con las características ya especificadas en el punto 2.2; este engranaje se moverá mediante la conexión a los engranajes locos y su interconexión con el engranaje motor. El cuerpo de soldadura deberá incluir un sistema de inyección del gas protector de la soldadura.
- **Soporte de las tuberías (Externo):**
Este corresponde a la estructura que soportará al cuerpo de soldadura y a su vez cumplirá con la tarea de sostener las tuberías que se desean unir mediante dos pinzas, las cuales estarán diseñadas para poder ajustar el recorrido que debe seguir el electrodo al momento de realizar la soldadura. También está compuesto por los terminales de conexión eléctrica y gas.
- **Estructura de circuitería:**
Esta estará diseñada para sostener el sistema de circuitería, pantalla (en el caso de ser necesaria), controlador, botoneras, etc. Además, se encontrará dentro del mango del dispositivo soldador.
- **Cables de conexión:**
Eléctricos, electrónicos y Gas.

Las partes mencionadas son el precedente para realizar los estudios requeridos para implementar el desarrollo de las materias anteriormente mencionadas.

3.2 Motor

3.2.1 Selección del tipo de motor

Dado que el motor no soportará cargas se seleccionará por las características de control de velocidad y posición. En el mercado hay una gran variedad de motores los cuales están diseñados para distintos tipos de trabajo, dentro de los motores diseñados para controlar posición y velocidad se encuentran los siguientes:

Motor DC común

Para realizar el control de movimiento y posición de éste es necesario la retroalimentación mediante algún dispositivo, un ejemplo es el Encoder, el cual funciona con un disco codificado, un emisor y un receptor de luz, este dispositivo determinará la velocidad por medio del cálculo entre el número de interrupciones del haz de luz y determinará su posición mediante un código previamente cargado al controlador.

Servomotor

El servomotor tiene la facilidad de controlar posición y velocidad mediante el ancho de pulso enviado al dispositivo, la gran desventaja es su limitación en el ángulo en que se pueden posicionar y su precio, ya que éste no solo consta del motor sino también de una relación de transmisión que aumentará el torque del mismo y un circuito integrado que alimenta el motor DC que es parte del servomotor.

Motor Paso a Paso

Los motores paso a paso funcionan mediante la alimentación síncrona de sus bobinas, donde por medio de la frecuencia en la inyección de los pulsos de alimentación de las bobinas se puede controlar la velocidad de giro de este tipo de motores, también llevando la cuenta de los pulsos se puede controlar la posición.

En general el motor paso a paso tiene un funcionamiento que lo hace el dispositivo adecuado para el control de la velocidad y la posición, ya que este tiene un menor costo de fabricación que el servomotor y una controlabilidad mayor que el motor DC común.

Debido a su versatilidad en el control de posición y velocidad, sin la necesidad de sensores, se decidió utilizar un motor de pasos, el que genera movimiento mediante la inyección de pulsos. Contando estos pulsos se puede determinar la posición, y mediante la frecuencia con la que se inyectan estos al motor se puede determinar la velocidad a la que el motor girará. En cuanto al motor DC común, este requiere de al menos un sensor extra del tipo Encoder, el que requiere de un código extra para sensar a la velocidad que se cuentan los haces de luz. En cuanto al servomotor este requiere también de un código de control más extenso para poder manipular su velocidad, lo que lo hace menos ventajoso, además este tipo de motores trae un juego de engranajes que disminuye su capacidad de obtener mayores velocidades de giro. Tan solo mediante un sensor final de carrera, un Driver de control y una sola línea de código se puede determinar la velocidad a la que se requiere que gire el motor, es por esto que el motor seleccionado para generar el movimiento es el motor de pasos.

3.2.2 Análisis del Motor Paso a Paso

El motor paso a paso es un dispositivo electromagnético rotativo que convierte una señal pulsada en rotación mecánica. La cantidad de rotación de este tipo de motores está determinada por la cantidad de pulsos, por otro lado, su velocidad está directamente relacionada con la frecuencia en la que son inyectados los pulsos al motor, son simples de operar a lazo cerrado por su controlabilidad anteriormente

mencionada y pueden ofrecer un excelente torque a baja velocidad. Hay tres categorías básicas que rigen los tipos de motor paso a paso [27].

- **De reluctancia variable**

Motor con su rotor dentado que tiende a alinearse con los polos bobinados del estator, puede seguir pasos muy pequeños, el rotor es de material magnético, pero no es un imán permanente, por lo general están diseñados para pasos de entre 5° y 15° (ver Fig. 3.1) [27].

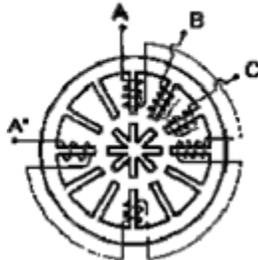


Fig. 3.1 "Reluctancia variable" [27].

- **De magneto permanente**

Es más utilizado en aplicaciones industriales que el de reluctancia variable, consiste en un rotor de magneto permanente con magnetizado radial y un estator similar al de reluctancia variable, generalmente están diseñado para pasos de entre 45° y 90° (ver Fig. 3.2).

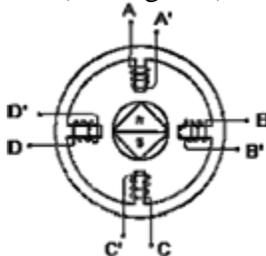


Fig. 3.2 "Magneto permanente" [27].

En el caso de motores de imán permanente hay dos tipos:

- Unipolar: funcionan mediante un solo sentido de alimentación del en las bobinas.
- Bipolar: funcionan mediante la alimentación de las bobinas en los dos sentidos.

- **Híbridos**

Es el más utilizado de todos los motores de paso, el rotor de apilado simple contiene dos piezas de polos separados por un magneto permanente magnetizado, con los dientes opuestos desplazados en una mitad de un salto de diente para permitir una alta resolución de pasos, generalmente están diseñados para pasos de entre 0.9° y 5° (ver Fig. 3.3) [27].

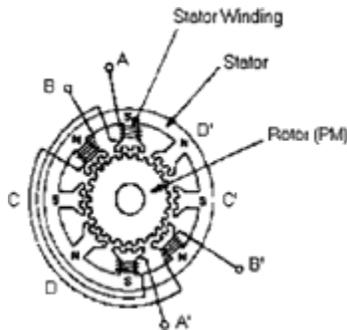


Fig. 3.3 "Híbrido" [27].

Es posible alimentar ambas bobinas simultáneamente con diferentes intensidades de corriente, lo que produce, un medio, cuarto, quinto, octavo o décimo de vuelta, según la distribución de la intensidad. Esto permite un considerable refinamiento en la máxima resolución de posiciones a las que puede funcionar un motor paso a paso. El recorrido incremental más pequeño (resolución) en un eje de posicionado viene determinado por el ángulo de paso del motor (número de pasos por revolución) y la constante de avance del eje de posicionado (determinado por el diámetro del piñón de entrada o el paso del husillo) [28].

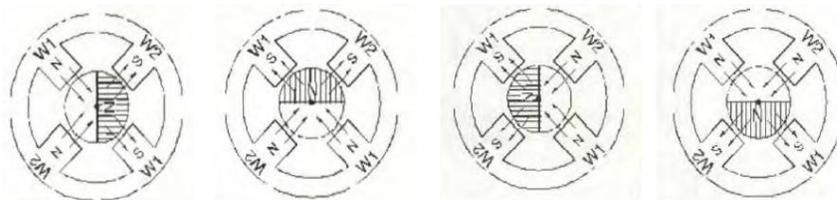


Fig. 3.4 "Motor simple de dos fases de paso completo" [27].

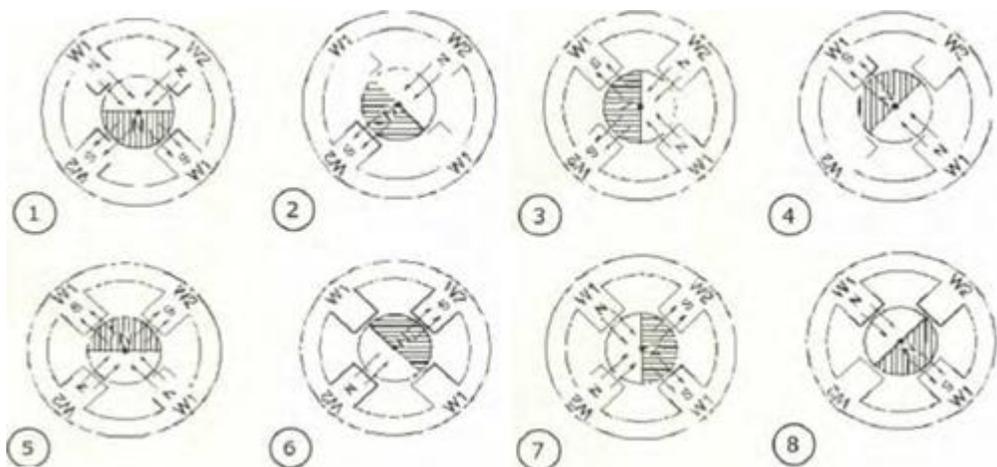


Fig. 3.5 "Motor simple de dos fases de paso medio" [27].

El motor de paso medio tiene una mayor precisión debido a que el número de pasos es multiplicado por dos al tener la posibilidad de realizar un paso intermedio entre cada paso completo, mediante un Driver el paso puede ser modificado a pasos intermedios de hasta 1/10 de paso.

$$n^{\circ} \text{ de pasos} = \frac{360^{\circ}}{\text{ángulo por paso}}$$

(3) [28]

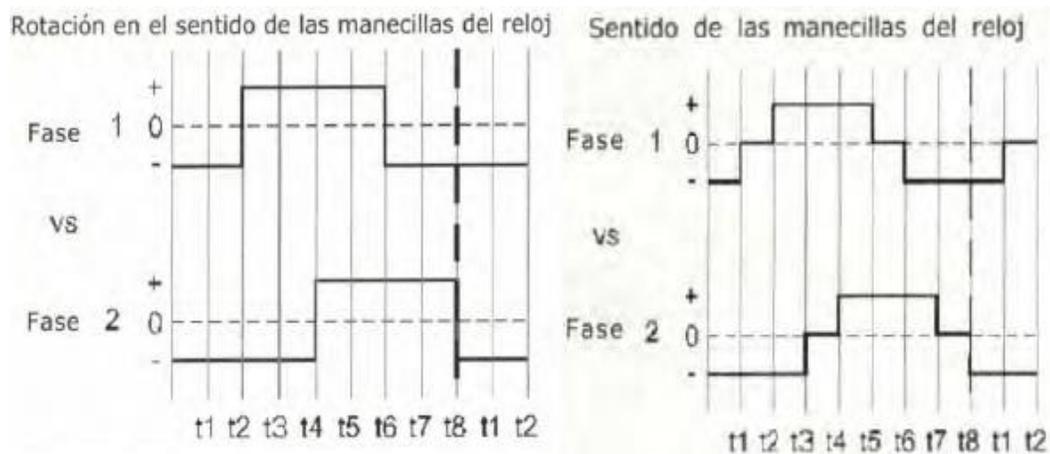


Fig. 3.6 "Diagrama de corriente motor 2 Fases, paso completo y medio" [27].

Una fase es una serie de bobinados alimentados mediante la misma línea. Como se puede ver en las Fig. 3.1, 3.2 y 3.3. Se requiere alimentar las fases mediante una sincronización específica para cada tipo de paso (intermedio o completo), la que determinará los grados que se moverá el eje del motor. Para realizar las secuencias mostradas en las Fig. 3.4 y 3.5, se requiere de un driver controlador de motores paso a paso, dependiendo del driver que se utilice y el modo en que este se configure el mismo se determinarán los grados que avance el rotor. Los drivers existentes para el control de motores de paso en el mercado determinarán la velocidad de giro del rotor mediante la frecuencia con la que se alimenta la señal de pasos del driver. En general estos controladores de motores de paso contienen entradas a las cuales se les indica el modo de funcionamiento de la siguiente manera:

- On/Off
- Step (Avance)
- Sentido
- Paso completo, medio, cuartos y octavos mediante 3 pines
- Alimentación
- Salidas a las bobinas
- GND

La sección 8.3 se profundizará en mayor medida para determinar el control de motor de pasos, establecer el driver y el tipo de motor.

3.3 Engranajes

El diámetro de la tubería que se requiere soldar es de 3.175 cm, por lo que se establece el diámetro primitivo del engranaje soldador en 10 cm. La velocidad de avance que se establece

para realizar la soldadura a una distancia de $\frac{3.175}{2} \text{ cm}$ (radio de la tubería) es de 0.6 cm/seg., de esta forma se realizó el siguiente calculo:

$$v = 0.6 \frac{\text{cm}}{\text{seg}} \quad (4)$$

$$v = \omega * r_2 \rightarrow 0.6 = \omega \cdot \frac{3.175}{2} \quad (5) [29]$$

$$\omega \approx 0.377952 \frac{[\text{rad}]}{[\text{seg}]} \quad (6)$$

De $\left[\frac{\text{Rad}}{\text{seg}}\right]$ a $[\text{Rpm}]$:

$$0.377952 \cdot \frac{60}{2\pi} \approx 3.60918_{\text{Rpm}} \quad (7) [30]$$

Se establece una relación de transmisión arbitraria determinada por los siguientes parámetros:

$$n_1 = 20[\text{Rpm}]; n_2 = 4[\text{Rpm}]; \text{ modulo} = 1,5$$

$$10 = z_2 \cdot 1,5 \quad (8) [29]$$

$$z_2 = 67 \quad (9)$$

$$d_1 \cdot n_1 = d_2 \cdot n_2 \rightarrow 10 \cdot 4 = d_2 \cdot 20$$

$$d_2 = 2 \quad (10) [29]$$

Con una relación de transmisión de:

$$r = \frac{4}{20} = 0,2 \quad (11) [29]$$

El número de dientes para el engranaje motor esta dado por:

$$z_1 = 0,2 \cdot 67 \approx 13 \quad (12) [29]$$

Luego de este cálculo, se realiza una conexión entre estos engranajes mediante engranajes locos los cuales sirven solo para asegurar la transferencia del movimiento al engranaje soldador, el cual estará conectado, como mínimo, con uno de los dos engranajes locos. Por otro lado, para el caso del control del motor de paso se realizó el siguiente calculo:

$$3.609182_{\text{rpm}} \rightarrow \frac{360^\circ \cdot 3.609182}{60} \rightarrow 21.65509^\circ_{1/\text{seg}} \quad (13) [31]$$

La velocidad a la que debe avanzar el engranaje motor está dada por:

$$\frac{21.65509}{0.2} = 108.2754888^{\circ}_{1/seg} \quad (14)$$

Por lo tanto, El engranaje soldador se moverá 22° por segundo (aproximadamente) y el engranaje motor 108° por segundo (aproximadamente). Cabe destacar la importancia de controlar adecuadamente el engranaje motor, el cual estará conectado directamente al eje del motor. Por lo tanto, si se considera un motor con un paso igual a 1.8°.

$$\frac{108.2754888^{\circ}}{1.8^{\circ}} \approx 60,153049 \left[\frac{pasos}{seg} \right] \quad (15)$$

Entonces, hay que dar 60 pasos por segundo (aproximadamente), lo que equivale a 60Hz, de esta forma se asegura la velocidad máxima de soldadura en $6 \left[\frac{mm}{seg} \right]$. Lo que conlleva a un tiempo total de soldadura determinado por el tiempo que se demora el engranaje soldador en dar una vuelta completa.

$$\frac{360^{\circ}}{21.65509^{\circ} \left[\frac{1}{s} \right]} = 16,62426709_s \quad (16)$$

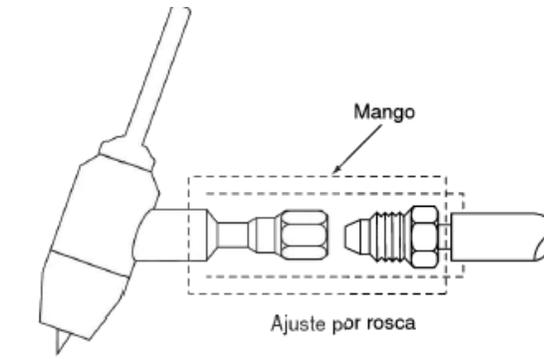
3.4 Conectores

El cableado, para conectar de la pinza a la máquina de soldar TIG, debe ser un cable diseñado para soportar 200A como máximo, con un ciclo de trabajo del 60% (el más común, como mínimo) que cumpla las características necesarias para asegurar un buen flujo de corriente con las condiciones que establece la soldadura TIG.

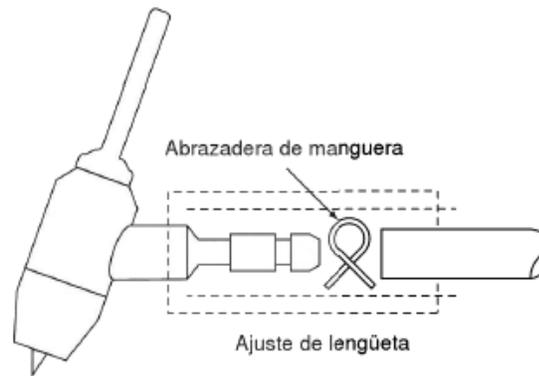
Debido a las altas temperaturas que se somete durante la soldadura, se debe proporcionar algún método de enfriamiento. Las antorchas diseñadas para un método de enfriamiento no son intercambiables con antorchas diseñadas para el otro método, a diferencia de algunos componentes de estas como boquillas, tapas y pinzas [2].

Las antorchas para el proceso de soldadura TIG están diseñadas por una parte interior de metal, rodeada por una cubierta de plástico resistente a las altas temperaturas y aislante, la parte interna de metal se fabrica de cobre o aleaciones de éste, por ejemplo, latón [2].

Los cables de alimentación y conexiones de las mangueras tienen la posibilidad de contener terminales de dos tipos, roscada o mediante abrazaderas, como muestran las Fig. 3.7 y 3.8.



(A) Fig. 3.7 "Tipo de junta A" [2].



(B) Fig. 3.8 "Tipo de junta B" [2].

El porta pinzas y la pinza están fabricados de cobre o latón, deben tener el tamaño necesario para encajar con el diámetro del tungsteno, el porta pinza tiene una forma que aprieta el tungsteno y a su vez permite el flujo de gas que será dirigido por la boquilla de la antorcha [2].

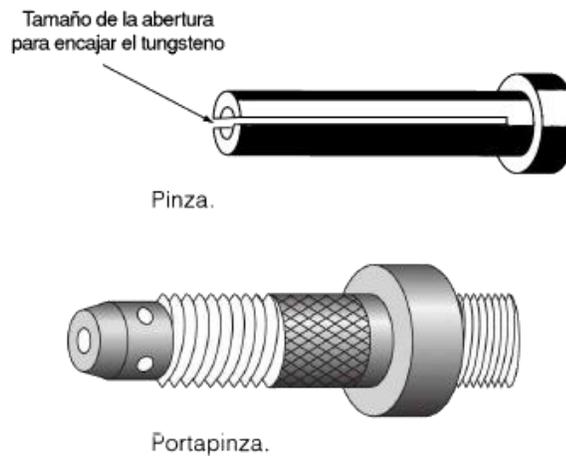


Fig. 3.9 "Porta pinza y pinza" [2].

Las boquillas de menor diámetro requieren de un flujo de gas más bajo con una mejor economía al tiempo de purgado y para llegar a la zona de la piscina de soldadura. Las boquillas de cerámica son resistentes, pero para el caso de la soldadura automática se requiere de boquillas de cobre, ya que estas resisten mejor el calor [2].

El número de cables y mangueras depende del tipo de enfriamiento de la antorcha, el cual se ve definido por el tipo de máquina a utilizar para el proceso de soldadura, siendo en este caso en particular la del tipo CCEN. Esta máquina puede usarse con refrigeración por gas hasta los 200A, pero en este caso la soldadura se llevará a cabo en un medio cerrado por el soporte de las tuberías, por lo que se realizará un análisis de las temperaturas involucradas en el proceso de soldadura mediante la medición experimental en el taller de máquinas de la universidad de Talca.

En el mercado se encuentra una variedad de cables eléctricos para máquinas soldadoras TIG, los cuales dependen del modelo de la máquina a utilizar, ya que algunas máquinas poseen flujo de agua, flujo de gas y un dispositivo diferente de switcheo. Estos cables están diseñados para ciertos tipos de antorchas, por lo que es recomendable realizar el diseño del cabezal en base a algún diseño de antorcha el cual facilite su postura, su elección y no requiera de fabricación.

3.4.1 Tipos de antorchas y cableados

Antorchas enfriadas por aire

Estas antorchas poseen dos tipos diferentes de conexión:

- Una sola manguera: Posee la característica de transportar el gas argón por el mismo cable en el cual se transporta la potencia eléctrica, como muestra la Fig. 3.10. La ventaja que posee este tipo de conexión es que al realizar un movimiento la probabilidad de dañar la manguera es menor, ya que esta tiene menos posibilidad de engancharse considerando ser solo una [18].



Fig. 3.10" Antorcha una sola manguera con botón".

- Una manguera y un cable: Esta forma de conexión se realiza mediante una manguera de enfriamiento la que transporta argón y un cable eléctrico de potencia, como muestra la Fig. 3.11. La ventaja de este tipo de conexión es que al dañarse algún componente solo requiere del cambio de una de las dos conexiones, por lo que su mantenimiento es menos costoso.



Fig. 3.11 "Antorcha un cable y una manguera con botón".

En la Fig. 3.12, se puede ver la forma en que la antorcha manguera-cable se conecta a la máquina soldadora [2] [5].

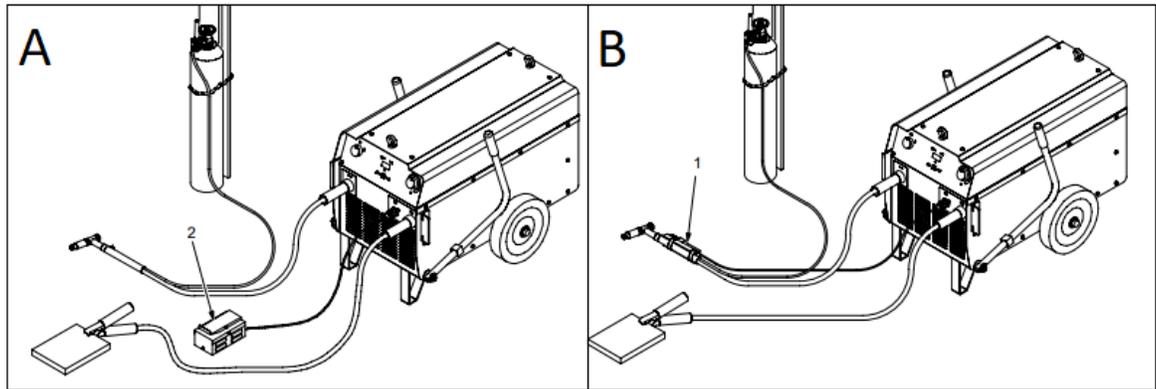


Fig. 3.12 "Antorcha cable/manguera, Conexión a máquina".

Antorchas enfriadas por agua

Este tipo de antorchas requiere de tres mangueras, una para la inyección de gas, otra para la inyección de agua y una última de retorno de agua y conexión a potencia. La inyección de agua debe realizarse con la manguera independiente conectada directamente al cabezal, ya que de esta forma se asegura la correcta temperatura de la misma. Si se inyecta el agua al cabezal mediante la manguera unida al cable de potencia, se podría generar problemas de cortocircuito. Algunas máquinas soldadoras poseen sistemas de seguridad para detener el proceso de soldadura cuando no hay inyección de agua, ya que esto puede traer como consecuencia, la falla de la manguera de retorno de agua, traduciéndose en una futura falla por el contacto del agua de retorno con el cable de potencia [18].

En los dos tipos de antorchas, la manguera para inyectar gas debe estar diseñada para soportar el calor del ambiente de trabajo y a su vez el gas, ya que las mangueras de goma comunes contienen aceites y otros contaminantes que pueden mezclarse provocando la contaminación de éste y en consecuencia la de la soldadura. Las mangueras de gas y agua deben contener distintos tipos de conector, ya que así se evita equivocaciones al momento de realizar la conexión a la máquina y a la antorcha. Por otro lado, los dos tipos de antorcha pueden tener presente el switch On/Off (control remoto manual) el cual está presente mediante un par de hilos o un conector, el voltaje máximo permitido en estos circuitos es de 80v. El switch On/Off puede o no tener un sistema de resistencia variable para controlar la corriente de soldadura, lo

que para el caso es irrelevante ya que el proceso no se puede observar en tiempo real, es por esto que se decidió un switch On/Off simple sin resistencia variable [2].

El diseño de la pinza puede limitarse a los parámetros ya existentes, así se facilita encontrar piezas de recambio. El cable de potencia puede seleccionarse con los existentes que pueden soportar 200 A y sus terminales sean compatibles con los terminales que se seleccionaran para la pinza. En caso de ser requerido un sistema de enfriamiento por líquido, la manguera de agua también puede ser seleccionada de las ya existentes que cumple con los requisitos de alimentar entre $8_{l/h}$ y $12_{l/h}$.

Se decide seleccionar un cable de potencia con la tubería de gas integrada WP-26 (como muestra la Fig. 3.10), ya que de esta forma se refrigera el cable de potencia y se facilita su uso y transporte, además existe un adaptador para conectar a máquinas que llevan el sistema mostrado en la Fig. 3.11, el cual se puede apreciar en la Fig. 3.13.



Fig. 3.13 "Adaptador".



Fig. 3.14 "Conector unicable WP-26".

Las medidas del conector (Fig. 3.14) son, Macho $M16 * 1.5$, Hembra $BSP 3/8$. Este debe estar incluido en el diseño de la pinza. El cable WP-26 se vende en el mercado como un juego completo armado que trae los conectores y el cable.

En cuanto al botón que inicia y mantiene el arco eléctrico para soldar, será reemplazado por un relé, el que se controla por medio de un microcontrolador. Este relé solo cumplirá la función de contactor, viéndose suplida la habilidad del soldador por la automatización del proceso.

El switch comúnmente presente en los equipos de soldadura es el ON/OFF, el cual corresponde a un circuito abierto que al presionar el botón es cerrado detonando una acción en la máquina para iniciar el arco eléctrico y comenzar el proceso de soldadura. En este caso, se reemplazará en el circuito de la máquina soldadora mediante un relé.



Fig. 3.15 "Switch ON/OFF".

3.5 Análisis de la implementación de un sistema de enfriamiento

Para determinar si un sistema de enfriamiento por agua es necesario en el dispositivo, se realizó una prueba de laboratorio, la cual consistió en realizar la soldadura de cuatro placas dispuestas una al lado de la otra. Cabe destacar que no se busca relacionar los datos empíricos con un modelo de calentamiento de las placas, ya que solo se pretendió establecer valores de temperatura que se alcanzaban en el proceso de soldadura de forma experimental, por lo que solamente se requiere evaluar los datos obtenidos. Las placas fueron soldadas por un soldador calificado que determinó la velocidad requerida para soldar una placa de 4mm de espesor para un cordón de 100mm, esto es similar a soldar una tubería de 3.175mm de diámetro con 4mm de espesor que básicamente es lo especificado como parámetro en el punto 2.9.

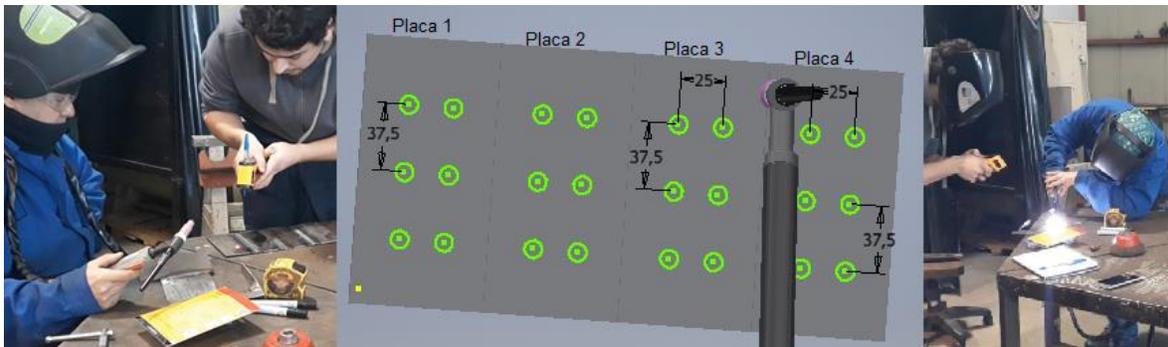


Fig. 3.16 "Pruebas de soldadura".

En la Fig. 3.16 se puede ver las zonas de medición de temperaturas mientras es llevada a cabo la soldadura. Se requiere medir temperatura en los puntos dispuestos como círculo en las placas. El método de medición de temperatura se debe repetir para el resto de las placas generando tres pruebas de soldadura, dando como resultado los datos de la Tabla 3.1.

		Ensayo N°1				Ensayo N°2			
Tramo		-5cm	-2.5cm	+2.5cm	+5cm	-5cm	-2.5cm	+2.5cm	+5cm
1		16	17	23	16	125	200	199	120
2		21	28	36	22	135	210	208	131
3		35	59	60	40	193	213	215	190
		Ensayo N°3							
	Tramo	-5cm	-2.5cm	+2.5cm	+5cm				
	1	96	197	130	49				
	2	105	204	140	76				
	3	106	250	156	81				

Tabla 3.1 "Datos Obtenidos".

Ensayo N°1

Al iniciar este ensayo las placas se encontraban a una menor temperatura que la temperatura ambiente, ya que estas se encontraban en condiciones frías. Las temperaturas iniciales de las placas fueron

- Placa 1 → 1°C
- Placa 2 → 1°C

El amperaje utilizado para realizar esta medición fue de 50A.

Las mediciones de temperatura se realizaron luego de cada tramo de soldadura, el primer tramo fue desde el extremo superior de la placa hasta la línea horizontal que forman las mediciones superiores de la placa, como se muestra en la Fig. 3.16. El primer tramo se llevó a cabo durante 12 segundos, el segundo tramo tomó 25 segundos y el tercer tramo se realizó en 45 segundos, dando como resultado los datos de la Tabla 3.1.

Los datos obtenidos en esta prueba son notoriamente inferiores ya que las condiciones iniciales de la placa eran frías, pero a medida que se fueron realizando las pruebas la temperatura inicial de las placas fue variando, generando en los otros ensayos una condición inicial de temperatura más elevada.

Como se puede ver los datos centrales son más elevados, pero son bajos en comparación a la temperatura de trabajo que puede alcanzar el material a utilizar (como se puede identificar en el punto 6.3).

Ensayo N°2

Al iniciar el ensayo las placas se encontraban a una mayor temperatura, ya que una fue calentada por el ensayo número uno y la otra fue expuesta al calor que liberaba el ensayo anterior por contacto con el mesón metálico y por la manipulación de la placa. Por lo que las temperaturas iniciales fueron

- Placa 2 → 25°C
- Placa 3 → 17°C

El amperaje utilizado en este caso fue de 80A.

Las mediciones de temperatura se realizaron con un solo tramo de soldadura completando el cordón completo en 50 segundos, al finalizar el cordón se realizó la medición de las temperaturas en cada punto descrito en la Fig. 3.16, dando como resultado los datos mostrados por la Tabla 3.1, en el recuadro Ensayo N°2.

Los datos obtenidos en esta medición fueron notoriamente más elevados que en ensayo anterior, esto se debe a que la temperatura inicial de las placas era superior.

Ensayo N°3

Este ensayo se realizó inmediatamente finalizado el ensayo anterior, ya que de esta manera la placa número tres tendría una temperatura más elevada, intentado emular una condición inicial de temperatura más elevada. La temperatura inicial de las placas fue de:

- Placa 3 → 43°C
- Placa 4 → 13°C

El amperaje utilizado fue de 80A, de esta forma las placas aumentan su temperatura con mayor velocidad.

Este ensayo se realizó mediante un solo tramo, llevando a cabo el cordón completo en 70 segundos, luego del término del cordón se realizaron las medidas, las cuales se ven reflejadas en la Tabla 3.1.

Como se puede observar en la Tabla 3.1, no se logró medir una temperatura mayor a 250°C, donde la medición en la cual se llegó los 250°C fue la obtenida inmediatamente después del proceso de soldadura. Como se puede ver en los ensayos dos y tres, el rango de temperaturas obtenidos de las mediciones centrales (a 2.5cm del cordón) estuvo entre 197°C y 250°C, siendo el parámetro más relevante la temperatura inicial del material.

Los datos obtenidos en las mediciones y su análisis, indican en primera instancia y a modo empírico, que para la fabricación del prototipo de la pinza automática soldadora, no se requiere contar con un sistema de enfriamiento para el cabezal soldador, ya que la temperatura que se alcanza por conducción a lo largo de la tubería no supera los 250°C a una distancia de 2.5cm, considerando que el material con menor temperatura de fusión para la fabricación del cabezal soldador tiene un valor de 300°C a trabajos de corto plazo y 260° trabajos continuos.

3.6 Seguridad

Los procesos de soldadura son actividades riesgosas en sí por los tipos de procesos que hay que llevar a cabo. En este caso la soldadura TIG conlleva el uso de electricidad, la cual, mediante un arco eléctrico, generado entre el electrodo y el material base, derrite el mismo a la temperatura de fusión de éste.

Ya se han nombrado dos riesgos asociados a la soldadura TIG, electricidad y material caliente, pero no tan solo estos dos factores generan riesgos en el proceso de soldadura. A continuación, se presenta una imagen resumen de 7 riesgos asociados a la soldadura TIG [20].

	<p>LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS pueden producir la muerte.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Siempre utilice guantes aislantes secos. 2. Aíslese usted del trabajo y del suelo. 3. No toque electrodos o piezas bajo tensión eléctrica. 4. Repare o reemplace antorchas o aislamiento de cable que esté dañado, o agrietado. 5. Apague la fuente de poder de soldadura antes de cambiar electrodos de tungsteno o piezas de la antorcha. 6. Mantenga tapas y manija bien asegurados. 		<p>LA SOLDADURA puede provocar fuegos o explosiones.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. No suelde cerca de material inflamable. 2. No suelde en contenedores o receptáculos cerrados. 3. Observe que no haya incendio; tenga cercanos los extintores.
	<p>LOS RAYOS DEL ARCO pueden quemar los ojos y la piel.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Use careta de soldar con un lente de protección que filtre correctamente. 2. Utilice la protección correcta para los ojos y el cuerpo 3. Cubra la piel expuesta. 		<p>LAS SUPERFICIES CALIENTES pueden quemar la piel.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Permita que la antorcha se enfríe antes de tocarla. 2. No toque metal caliente. 3. Proteja a otros del contacto con metal caliente.
	<p>EL HUMO Y LOS GASES pueden ser peligrosos para la salud.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mantenga su cabeza fuera del humo y los gases. 2. Ventile el área, o use un aparato para respirar. 3. Lea las hojas de datos de seguridad de materiales (MSDSs en inglés) y las instrucciones del fabricante para el material que se esté usando. 		<p>EL RUIDO puede afectar los oídos; ALGUNAS APLICACIONES, COMO LA PULSACIÓN son ruidosas.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Verifique que los niveles de ruido no excedan aquéllos especificados por OSHA. 2. Utilice tapones de oídos o protección acústica aprobada si el nivel de ruido es elevado. 3. Advierta a otros que estén cerca sobre el peligro del ruido.
	<p>EL ACUMULAMIENTO DE GASES puede lesionar o matar.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cierre la fuente de gas cuando no se la esté usando. 2. Siempre ventile los espacios encerrados o utilice un respirador de aire aprobado. 		

Fig. 3.17 "Seguridad soldadura TIG" [20].

Es por esto por lo que al diseñar la pinza se deben considerar factores de riesgo asociados al proceso de soldadura TIG.

En cuanto a la electrocución el reglamento electrotécnico de baja tensión fija valores de tensión de seguridad de 24V. En la Tabla 3.2 se pueden ver los efectos de la corriente sobre el cuerpo humano [32].

Intensidad [mA]				Efectos sobre el cuerpo humano
CC		CA		
Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	
1	0.6	0.4	0.3	Ninguna sensación
5.2	3.5	1.1	0.7	Perceptible
76	51	16	10.5	Intensidad límite
90	60	23	15	Choque doloroso y grave, contracción muscular y dificultad para respirar
200	170	50	35	Principio de fibrilación ventricular
1300	1300	1000	1000	Fibrilación ventricular posibles choques cortos (0.03 segundos)
500	100	100	100	Fibrilación ventricular posibles choques cortos (3 segundos)

Tabla 3.2 "Efectos de la electricidad sobre el organismo" [32].

Capítulo 4. Diseño de la Soldadora Orbital TIG

4.1 Introducción

En este capítulo se presenta el desarrollo del diseño de la pinza soldadora, la que está compuesta de tres grupos de piezas más importantes, las que corresponden a los siguientes:

- Sistema de transmisión del movimiento
Este sistema está conformado por un juego de cuatro engranajes, los que están posicionados estratégicamente para asegurar el avance parejo y sin detenciones del engranaje que llevará a cabo la soldadura, el engranaje motor se encuentra conectado en el mismo eje de un motor paso a paso que será controlado mediante un Arduino.
- Sistema de sujeción
El sistema de sujeción está compuesto por tres tapas exteriores, las cuales, mediante unas boquillas y seguros, soportan a las tuberías que se desean soldar.
- Alma plástica resistente a la temperatura y aislante eléctrico
El alma plástica contiene a los engranajes en su interior, pero a su vez contiene las cañerías que canalizaran tanto el gas Argón como el agua de enfriamiento, por otro lado, contendrá el anillo rozante que hará de contacto al engranaje soldador para transmitir la corriente.

Ya realizados los análisis previos al diseño (Capítulo 3) y con las bases instruidas por el profesor, se da paso a desarrollar el diseño de la soldadora orbital mediante el proceso de soldadura TIG con el software Autodesk Inventor Profesional 2018, el que es facilitado a los estudiantes de la universidad por medio del sitio web de Autodesk [33].

4.2 Sistema de transmisión

La forma del engranaje principal soldador, es la piedra inicial del desarrollo del diseño de la pinza soldadora, ya que este determinará el modo de postura del soporte sobre las tuberías que se desean soldar. Para el desarrollo de este diseño se determinó que el engranaje soldador quedará diseñado en forma de U, de esta manera la postura y el retiro de la pinza no requerirá de su desarme completo, sino más bien, del retiro de algunos seguros [9].



Fig. 4.1 "Sistema de transmisión del movimiento".

El sistema de transmisión del movimiento consta de un engranaje motor, dos engranajes locos y un engranaje de soldadura. El diseño de estos engranajes se ciñe al cálculo realizado en el punto 4.3, donde se determinó algunos parámetros del engranaje soldador y el engranaje motor.

Mediante la herramienta para crear engranajes del software Autodesk Inventor Profesional 2018, se realizó el diseño de los engranajes, quedando el sistema de transmisión parametrizado en los valores indicados en la Fig. 4.2.

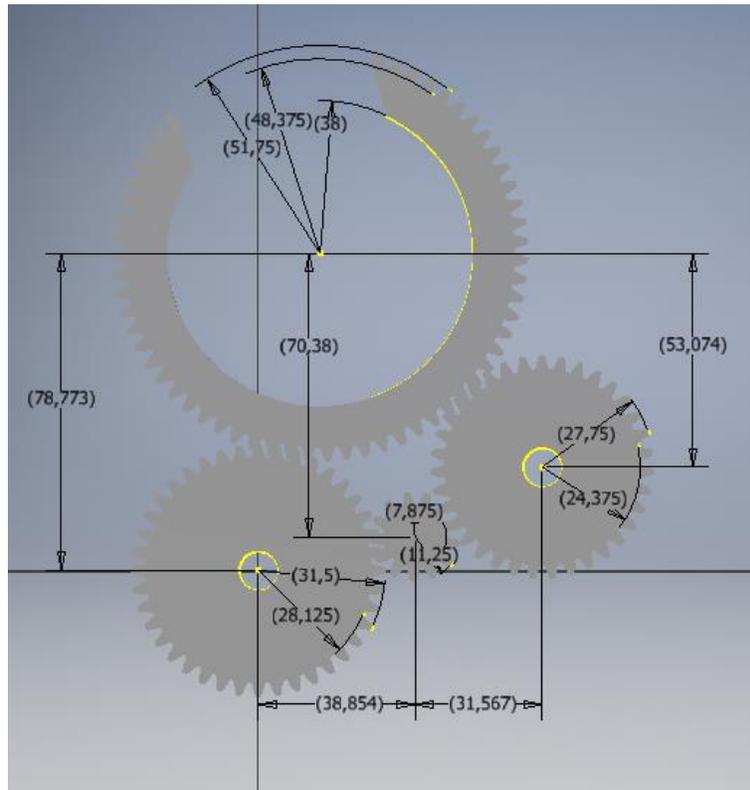


Fig. 4.2 "Parámetros Transmisión".

Estos parámetros (Fig. 4.2) permiten mantener el engranaje soldador siempre en contacto con uno de los engranajes locos y de esta forma realizar el movimiento de este sin detenciones (ver Fig. 4.3).



Fig. 4.3 "Vinculo soldador-locos".

4.3 Alma de plástico resistente al calor

Los engranajes serán sostenidos por el alma de plástico resistente al calor, la cual deberá estar diseñada con la misma forma de herraduras que el engranaje soldador, pero también tendrá que contener en su interior los canales por los que se dirigirá el gas Argón. El alma, estará seccionada en tres partes, como se ve en la Fig. 4.4.



Fig. 4.4 "Exterior alma plástica".

El exterior del alma contiene un orificio por una de sus caras exteriores. Este orificio existe para conectar mediante un eje el engranaje motor con el motor, este eje cruza el alma de plástico para poder llevar a cabo la unión.

Como se mencionó anteriormente, el alma de plástico resistente a la temperatura y aislante eléctrica posee canales los cuales se ven descritos en los siguientes puntos.

4.3.1 Sistema de inyección de gas

Este sistema consiste en direccionar el gas mediante canales tanto en el alma plástica como en el engranaje soldador para asegura la correcta inyección del gas a la punta del tungsteno [9].

Se establecieron tres válvulas de inyección de gas posicionadas estratégicamente en el alma plástica (ver Fig. 4.8), las cuales funcionan mediante un sistema el que permite la inyección de gas en un rango de posición del eje que no supere cierta penetración y que no se aleje más de cierta distancia en la penetración de la válvula.

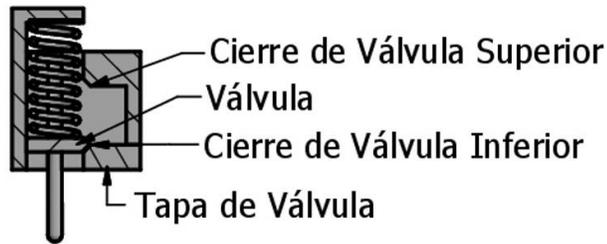


Fig. 4.5 "Válvula Gas".

Mediante el eje de la válvula se controla la apertura y el cierre de ésta, la que cierra completamente cuando el eje alcance tanto la sección libre de engranaje como la sección más alta de la guía de penetración del eje de la válvula (como muestra la Fig. 4.8). El canal en el alma de plástico que direcciona el gas hacia las válvulas mencionadas anteriormente tiene una conexión principal por donde es apernada la junta de la manguera que inyecta el gas y alimenta la potencia eléctrica, luego este canal se divide en tres, cada uno apuntando a cada válvula de inyección como se muestra en la Fig. 4.6.

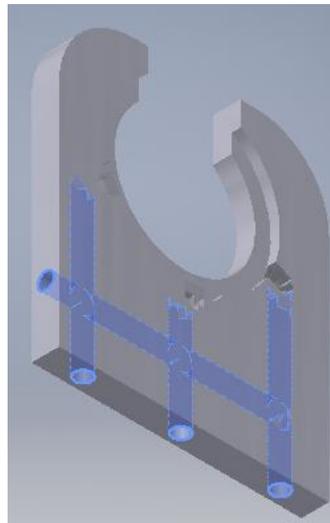


Fig. 4.6 "Canal de inyección de gas".

También se puede ver la manera en la cual deben ser fabricados los canales, así en posterioridad, se bloquean mediante tres tapones y una conexión BSP de 3/8 donde va conectado el borne Gas/Potencia.

La medida del arco faltante en el engranaje de herradura determinará las medidas mínimas y máximas de separación en los canales que van surcando al engranaje soldado. Para calcular el arco faltante en el engranaje de herradura, se generó un triángulo con dos de sus aristas en los extremos de la herradura y una tercera en el centro del engranaje, dando como resultado el triángulo de la Fig. 4.7.

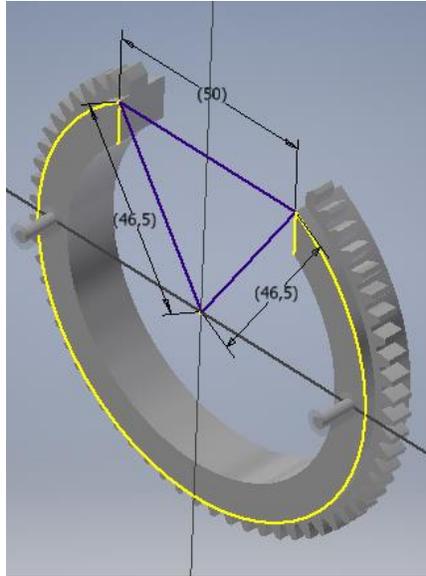


Fig. 4.7 "Triángulo Arco".

El ángulo ubicado en el centro del engranaje determinara el tamaño del arco, por lo que se trazó una recta desde el centro del engranaje, perpendicular al lado de 50 cm, dividiéndolo en dos partes iguales (ya que los otros dos catetos tienen la misma medida) generándose así un triángulo rectángulo con el que se trabajó para determinar la medida del ángulo central.

$$\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{25}{46.5} \rightarrow \alpha = 65^\circ \quad (17)$$

Luego, para determinar el largo del arco se realizó el siguiente cálculo:

$$2 * \pi * 46.5 * \left(\frac{65}{360}\right) = 52.8 \text{ cm} \quad (18)$$

Por lo tanto, la distancia que tiene que haber entre una válvula de entrada de gas y la otra tiene que ser como máximo 53cm en forma de arco con un radio de 46.5cm, de esta forma no habrá periodos de desabastecimiento de gas al tungsteno.

Los surcos diseñados en el alma plástica participan del abastecimiento de gas en el tungsteno mientras se realiza el proceso de soldadura, estos fueron diseñados conforme a los cálculos realizados para no superar una separación en la que el tungsteno se puede ver desabastecido de gas mientras se esté llevando a cabo el proceso de soldadura, por lo que se diseñaron conforme al cumplimiento del abastecimiento como indica la Fig. 4.8.

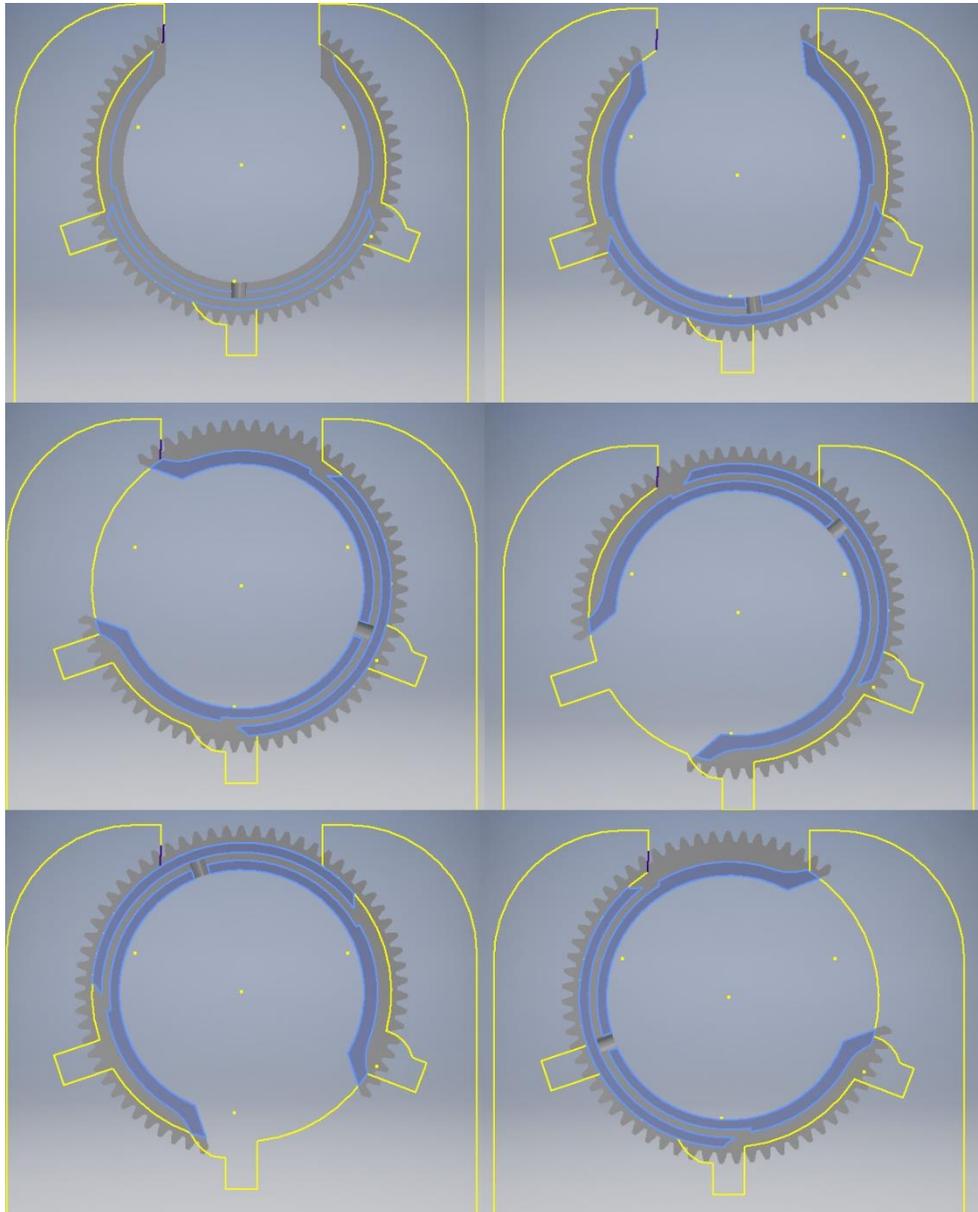


Fig. 4.8 "Proceso de inyección del gas".

4.4 Anillo/rodillo rozantes y conector de alimentación

Para realizar la alimentación del engranaje soldador se llevó a cabo una especie de rodillos rozante, los cuales conectan mediante el contacto superficie a superficie con un anillo de latón. Este anillo de latón se conecta directamente mediante una varilla de latón con el cable de alimentación de la máquina soldadora. El extremo de la varilla contiene una forma especial, donde parte de ella cumple la función para apernar el cable de potencia al interior del dispositivo.

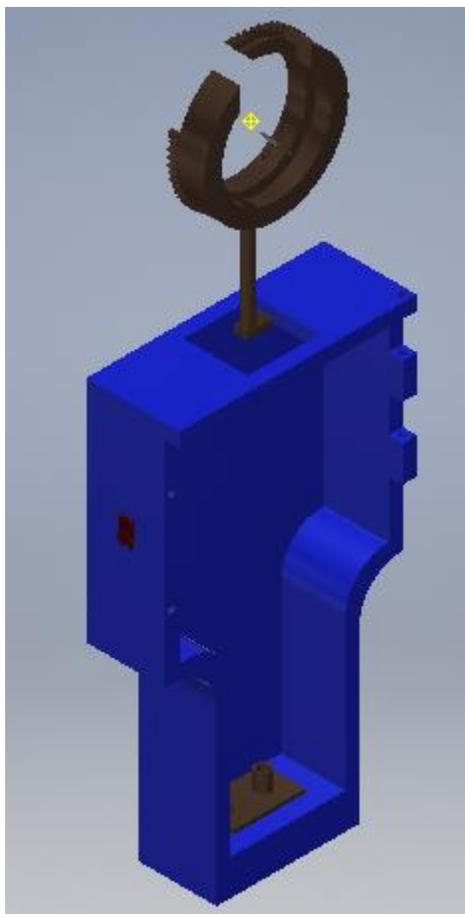


Fig. 4.9 "Sistema de alimentación eléctrica".

En la parte superior de la Fig. 4.9 se puede ver el engranaje soldador en contacto con el anillo el cual a su vez está en contacto con la varilla de latón. El engranaje soldador se encuentra en contacto con el anillo mediante dos rodillos rozantes. La varilla de latón está constituida por dos partes principales, la varilla como tal y la conexión rectangular donde se debe apernar un cable eléctrico para transferir la potencia eléctrica del dispositivo soldador. En el extremo inferior es posible observar por donde se debe conectar el otro extremo del cable de potencia de la misma forma que el extremo anteriormente mencionado. En las pequeñas tuberías que se pueden ver, se conecta una manguera para transportar el gas argón, las cuales se deben asegurar mediante dos abrazaderas. Es así como se realizará la alimentación tanto de potencia como de gas, como se puede ver en las Fig. 4.9 y 4.10.

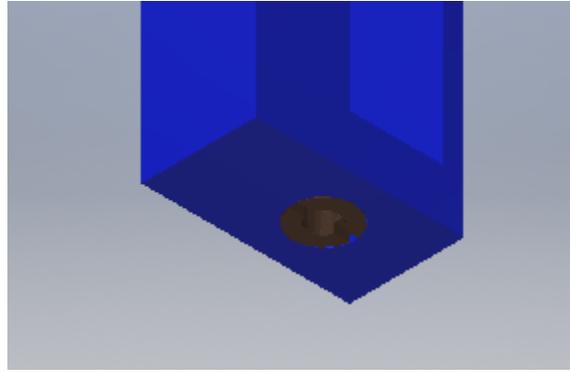


Fig. 4.10 "Adaptador de hilo y tubería".

El adaptador inferior es apernado al mango y a su vez está en contacto, mediante un cable, con el extremo de la varilla que conecta al anillo que alimenta el engranaje soldador. Este adaptador posee un hilo interno BSP 3/8, el que por lo general es utilizado para apernar las conexiones de soldadura de este tipo, como muestra la Tabla 4.1[34].

Denominación	N° hilos por pulg.	Paso (mm)	F (mm)	D (mm)
3/8	19	1.3	16.66	8.5

Tabla 4.1 "Especificación BSP 3/8" [34].

Para asegurar el buen flujo del gas, el diseño del dispositivo soldador contiene un ducto de gas el cual está diseñado con un diámetro de 8.5mm, ya que éste es el diámetro establecido para el tipo de rosca y por consecuencia el diámetro requerido para la alimentación de gas en el proceso de soldadura TIG.

4.5 Soporte exterior

Todos los sistemas anteriormente mencionados son soportados por una capa exterior, la cual está diseñada por dos tapas superiores y una inferior. Las tapas superiores y la inferior son móviles (como se puede ver en la Fig. 4.11), éstas se pueden abrir y cerrar para montar los soportes en conjunto con las tuberías en su interior. El sistema de soporte (inferior y superior) está diseñado de forma ahuecada para así poder mantener en su interior el alma plástica con sus sistemas y el juego de engranajes con sus accesorios correspondientes.

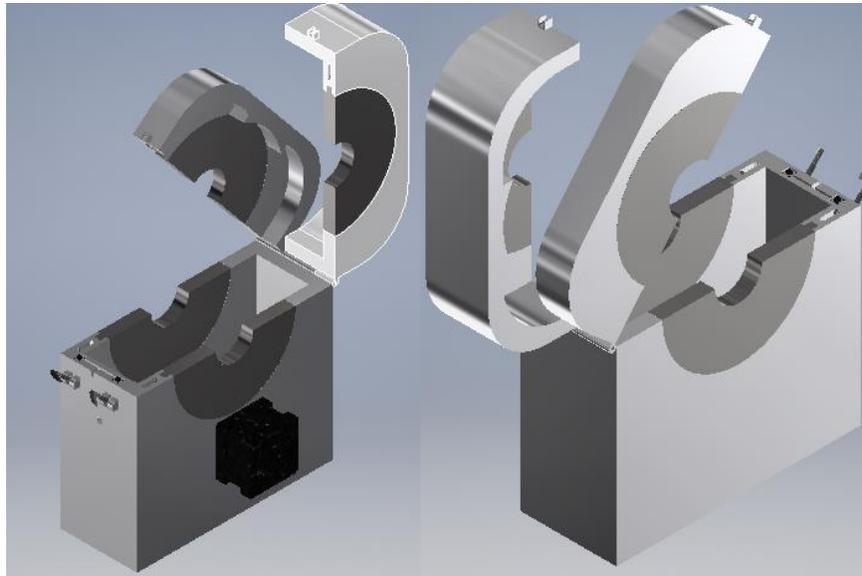


Fig. 4.11 "Soporte Exterior".

El soporte exterior superior está diseñado en dos partes, ya que esto permite ajustar el cordón de soldadura en la unión de las tuberías. Acomodando manualmente se monta en un extremo (con la boquilla adecuada montada anteriormente) una de las tuberías para luego proceder a cerrar el soporte superior y ajustar el seguro, luego, se monta en el otro extremo de la pinza (con la boquilla adecuada montada anteriormente) el otro tubo, se cierra el soporte y se procede a ajustar el seguro.

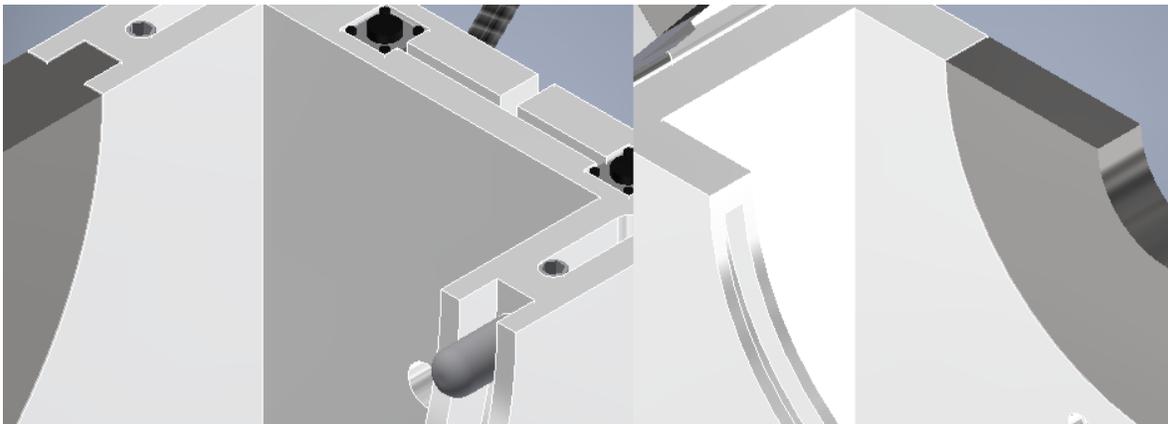


Fig. 4.12 "Seguros Boquillas".

Como muestra la Fig. 4.1, las boquillas son soportadas por un seguro de pasador, por otro lado, las boquillas contienen una aleta la cual se encaja en el surco del soporte exterior (tanto superior como inferior), la que le impedirá el movimiento axial.

Los soportes exteriores superiores están unidos al exterior inferior mediante unas bisagras que permiten la apertura y el cierre de la pinza soldadora, por otro lado, los soportes superiores contienen el seguro donde se apertan los tornillos del soporte inferior, de esta manera, al colocar los tubos en el sistema de pinza estos se aseguran con fuerza por los pernos.

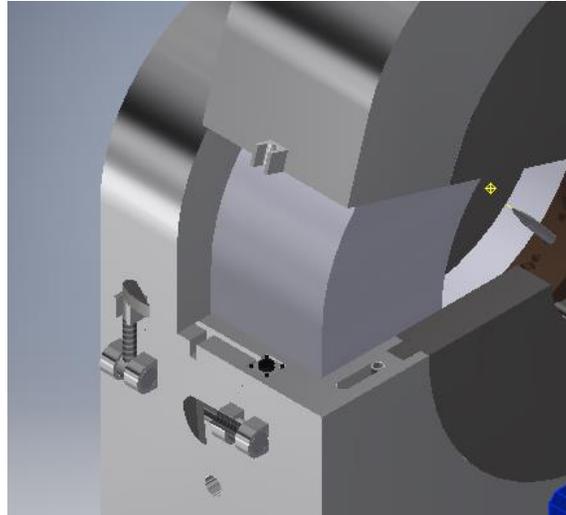


Fig. 4.13 "Seguros Soporte exterior".

El soporte inferior posee dos sensores de cierre, los cuales permiten el encendido del dispositivo cuando estos se encuentran activados, como se muestra en la Fig. 4.13. El proceso de cierre de la pinza soldadora se ve descrito en la Fig. 4.14, donde en la imagen superior izquierda se ve a la pinza soldador abierta, en la imagen superior derecha se ve la pinza con las boquillas ya colocadas en su posición, en la imagen inferior izquierda se ve el tubo posicionado para ser asegurado y en la imagen inferior derecha se ve el tubo ya asegurado tanto por el soporte exterior como las boquillas.

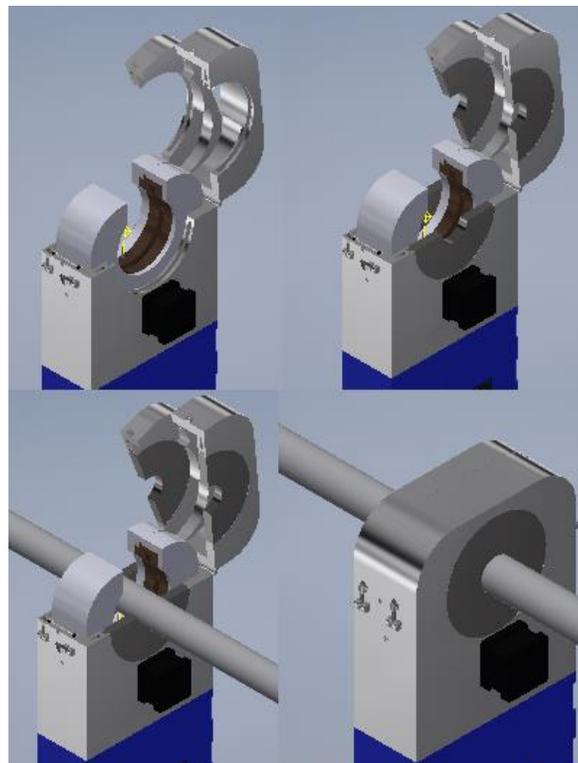


Fig. 4.14 "Cerrado de Pinzas".

Mediante el diseño y su proporcionalidad se determinó que el diámetro máximo a soldar es de 4.6 cm, ya que de esta forma es permitido contener una distancia entre el electrodo y el material contabilizando el porte del tungsteno de 10 mm. Como el modelo diseñado está dirigido a la elaboración del prototipo de la soldadora orbital, no se estableció una relación térmica empírica respecto al calentamiento del tungsteno, por lo que el diámetro máximo debe ser corregido en la etapa de montaje del diseño para obtener de forma empírica los datos térmicos requeridos. En cuanto al diámetro mínimo, este debe ser analizado de forma empírica, ya que el sistema admite espesores menores a 4 mm y a su vez diámetros menores a 2.175 mm por lo que, mediante la modificación de los parámetros de corriente y velocidad de avance de la soldadura, se puede determinar una medida experimental.

Capítulo 5. Selección de componentes

5.1 Introducción

En este capítulo se desarrolla el análisis y estudio de la selección de los componentes a utilizar, tales como, el controlador del proceso de soldadura, el motor que llevara a cabo el movimiento que se transmite mediante el juego de engranajes y el Driver controlador de motores de pasos. La determinación de los distintos dispositivos a utilizar está determinada por distintos factores los cuales son expresados en los puntos que expone el capítulo.

5.2 Selección del motor

Debido a su versatilidad en el control de posición y velocidad, sin la necesidad de sensores, se decidió utilizar un motor de pasos, el que genera movimiento mediante la inyección de pulsos. Contando estos pulsos se puede determinar la posición, y mediante la frecuencia con la que se inyectan estos al motor se puede determinar la velocidad a la que el este girará.

Al motor se le puede regular, mediante un Driver controlador, la frecuencia de los pulsos enviada a éste y en consecuencia la velocidad de avance. El paso que debe tener el motor es de 1.8° (ya especificado en 3.2), debe ser un motor de magneto permanente, bipolar, de esta forma se puede llegar a una mejor resolución. Aun cuando el torque no es relevante ya que la tarea a realizar no requiere fuerza, se selecciona un motor de paso de un torque de al menos 1kgf, de esta forma se asegura que el roce no provocará que el motor no sea lo suficientemente potente para mover el mecanismo.

Para asegurar el movimiento del sistema de transmisión mediante el motor de 1kg se presenta el siguiente cálculo de fuerza de rozamiento.

El coeficiente de fricción del PEEK respecto al acero en seco de 0.4, los pesos estimados de los engranajes son:

- Engranaje soldador: $0.2kgf \approx 2N$
- Engranajes locos: $0.05kgf \approx 0.5N$
- Engranaje motor $50gf \approx 0.5N$

Por lo tanto, la fuerza mínima para mover el sistema de transmisión se ve determinada por las siguientes ecuaciones.

$$f_{res} = \mu * N \rightarrow f_r = 0.4 * 2 = 0.8N \quad (19)$$

$$f_{rel} = 0.4 * 0.5 = 0.2N \quad (20)$$

$$f_{rem} = 0.4 * 0.5 = 0.2N \quad (21)$$

$$f_{rtotal} = 0.2 * 3 + 0.8 = 0.86N \quad (22)$$

$$f_{rtotal} = 0.09kgf \quad (23)$$

Los motores de paso de 1.8° más comunes y compatibles con las características del diseño de la soldadora son los Nema 17, toda la serie 17 esta sobre 1kgf, y tienen una configuración la que puede ser agregada al diseño de la pinza.

La forma del eje del motor debe tener las características especificadas en la Fig. 5.1.

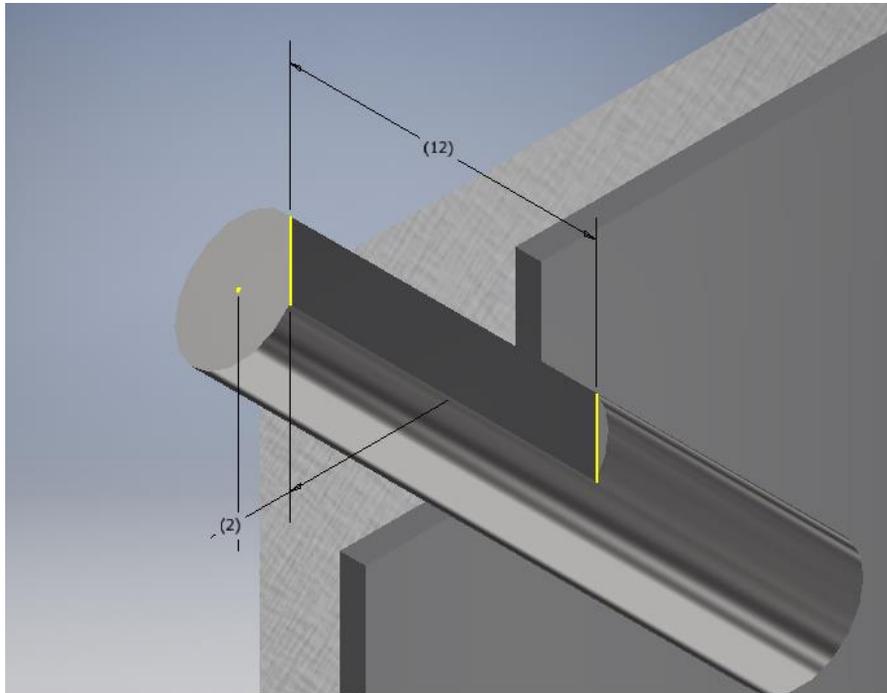


Fig. 5.1 "Sistema unión engranaje motor".

El motor agregado al diseño es el motor con numero de modelo 17HS2408 (Fig. 5.3). Las dimensiones del motor son las representadas en la Fig. 5.2 [35].

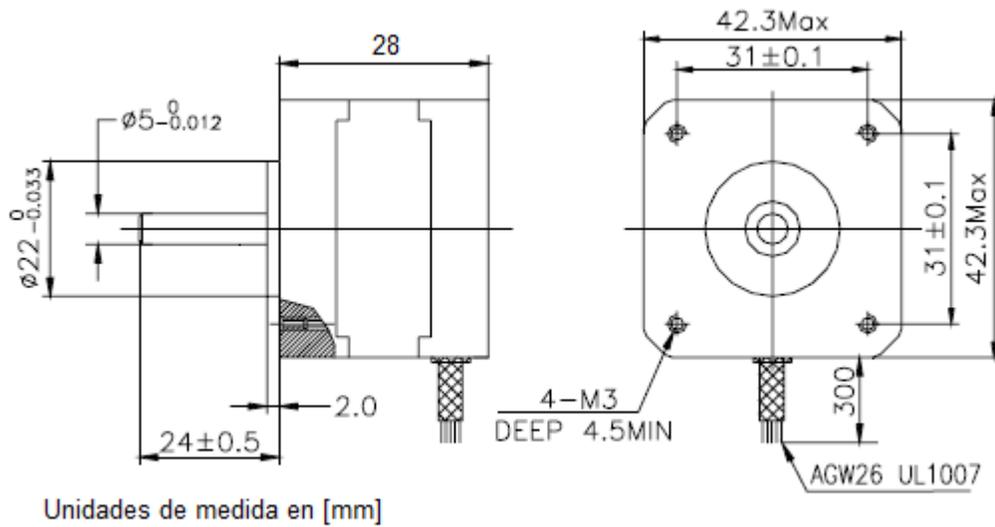


Fig. 5.2 "Medidas Nema 17" [35].

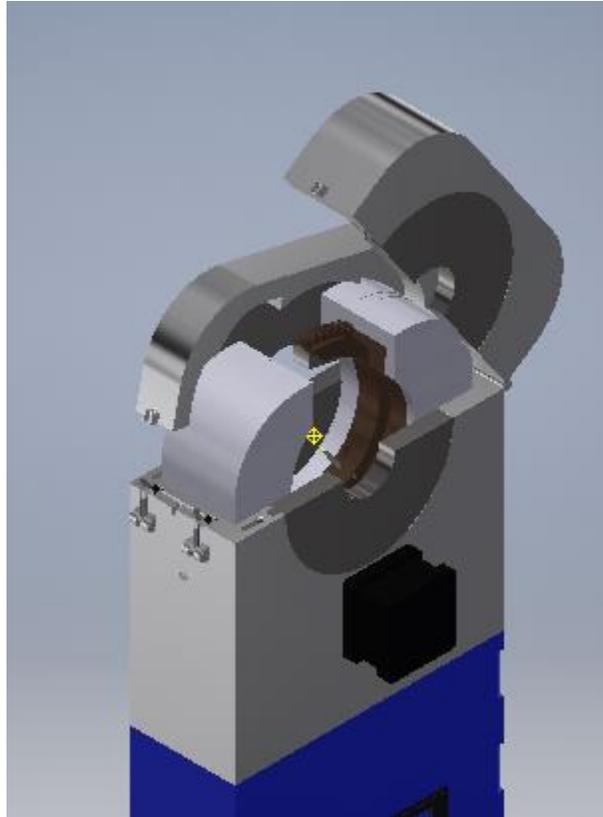


Fig. 5.3"Pinza con motor".

El motor bipolar posee cuatro cables de conexión los cuales varían su polaridad dependiendo del paso que se esté llevando a cabo, por lo tanto, la conexión hacia los cuatro cables se debe realizar por fases, como se muestra en la Fig. 5.4.

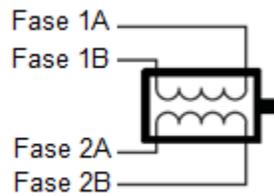


Fig. 5.4"Conexión de fases" [27].

Para controlar el motor de pasos se requiere de energizar las fases de cierta forma en la que se siga su secuencia de avance, ya que si esta secuencia no se sigue al pie de la letra el motor tenderá a estancarse en una posición o rotará hacia ambos lados sin sentido, es por esto que para facilitar el control del motor se decidió utilizar un Driver. En el mercado hay gran variedad de estos Drivers, la característica más importante que debe tener éste es que debe poder controlar la velocidad del motor, es por esto que se decidió trabajar con un Driver A4988 el que no tan solo puede controlar la velocidad, si no también, un inicio y fin suave, sentido de giro, estado de bajo consumo y ángulo del paso [16] [27].

5.3 Driver A4988

El Driver A4988 (Fig. 5.5) es un controlado de motores de paso el cual puede ser configurado para trabajar mediante micropasos o pasos de mansera sencilla. Diseñado para controlar motores paso a paso bipolares en modo de paso completo, paso medio, cuarto, octavo y decimosexto, con capacidad voltaje de excitación de las bobinas de los motores de hasta $32V \pm 2A$.

Su aplicación es ideal en microprocesadores los cuales su capacidad de procesamiento no está disponible para realizar el control del motor [16].

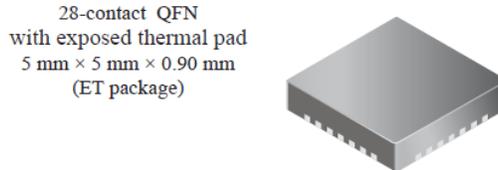


Fig. 5.5 "Driver A4988" [16].

El esquema de conexios del driver se ve plasmado en la Fig. 5.6.

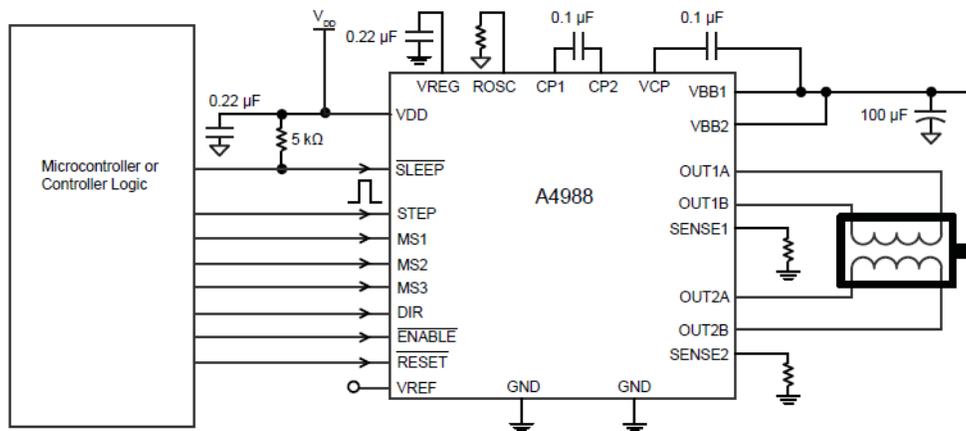


Fig. 5.6 "Conexión A4988" [16].

Los pines de conexión del dispositivo controlador de motor de paso se ven en la Tabla 5.1.

VDD	Voltaje de alimentación del driver	Desde 3 a 5.5 V DC
SLEEP	ON (1) / OFF (0) Driver	Desde 3 a 5.5 V DC
STEP	Frecuencia de pulsos	Desde 3 a 5.5 V DC
MS1	Selección de micropaso	Desde 3 a 5.5 V DC
MS2	Selección de micropaso	Desde 3 a 5.5 V DC
MS3	Selección de micropaso	Desde 3 a 5.5 V DC
DIR	Sentido de Giro del motor 1/0	Desde 3 a 5.5 V DC
ENABLE	ON (0) /OFF (1) de las salidas	Desde 3 a 5.5 V DC
RESET	Reset	Desde 3 a 5.5 V DC
GND	GND	-
VBB1	Voltaje de alimentación de bobina 1	Desde 8 a 35 V DC
VBB2	Voltaje de alimentación de bobina 2	Desde 8 a 35 V DC
OUT1A	Fase 1A	Hasta $32 \text{ V} \pm 2\text{A}$
OUT1B	Fase1 B	Hasta $32 \pm 2\text{A}$
SENSE1	GND	-
OUT2A	Fase 2A	Hasta $32 \pm 2\text{A}$
OUT2B	Fase 2B	Hasta $32 \pm 2\text{A}$
SENSE2	GND	-

Tabla 5.1 "Pines A4988" [16].

En el mercado hay disponible una placa la que disminuye los pines de conexión mediante el montaje de componentes establecidos en la conexión principal, así las conexiones requeridas para el montaje de un motor de pasos en la placa quedan como muestra en la Fig. 5.7.

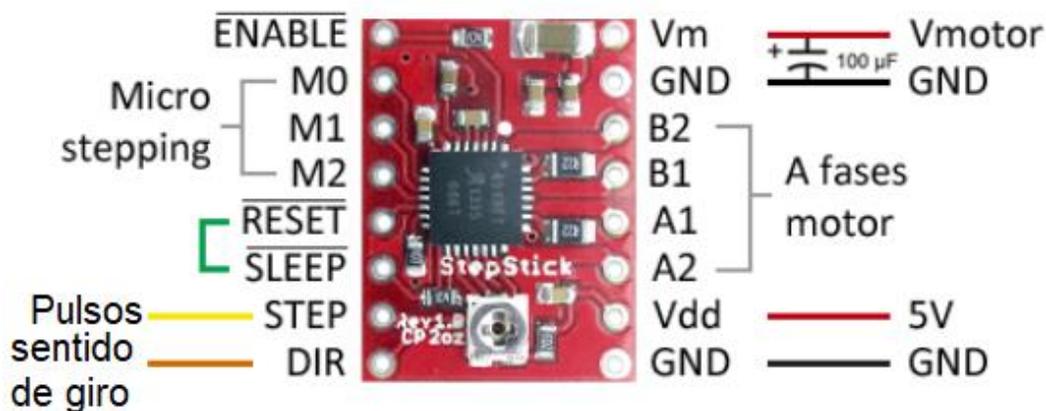


Fig. 5.7 "Pines Modulo A4988".

El Driver requiere de una configuración de los estados de los pines de entrada MSx (como muestra la Tabla 5.2) para determinar el tipo de paso que se desea realizar [16].

MS1	MS2	MS3	Tipo de paso	Modo de excitación de las bobinas
0	0	0	Paso completo	2 Fases
1	0	0	Medio paso	1-2 Fases
0	1	0	1/4 de paso	W1-2 Fases
1	1	0	1/8 de paso	2W1-2 Fases
1	1	1	1/16 de paso	4W1-2 Fases

Tabla 5.2"Configuración de pasos" [16].

Para lograr utilizar el Driver A4988 se requiere de una señal de pulsos con cierta frecuencia la cual hará variar la velocidad del motor dependiendo de la frecuencia en la que los pulsos sean enviados el Pin Step. Para realizar el envío de pulsos al Driver se utilizará un microcontrolador [16].

5.4 Controlador

El controlador será el dispositivo que realizará la labor de enviar los pulsos al Driver del motor para que este realice el switcheo al motor de pasos para establecer el giro a la velocidad deseada, el controlador estará encargado de recibir el valor de la velocidad (mm/seg.) para realizar el ajuste necesario e implementar en la salida al driver la frecuencia requerida.

Dispositivos conectados al controlador

- Pantalla LCD



Fig. 5.8"Pantalla LCD".

- Driver A4988



Fig. 5.9"Driver A4988".

- Motor de paso



Fig. 5.10 "Motor de pasos".

- Botonera



Fig. 5.11 "Botones".

Por seguridad el controlador solo permitirá la iniciación del proceso de soldadura con los siguientes datos verificados

- Velocidad de soldadura
- Pinzas cerradas

El dispositivo seleccionado para realizar la labor de controlador es el Arduino Mega, el cual posee un Atmega2560, con un voltaje de entrada de 7 V a 12 V DC, posee 54 pines digitales de entrada y salida, 14 pines PWM, 16 entradas análogas, 4 puertos serial por hardware, 256K de memoria flash y un reloj de 16Mhz de velocidad [36].

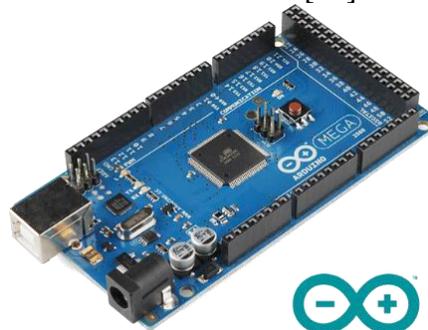


Fig. 5.12 "Arduino Mega".

El Arduino es programado mediante el software libre Arduino, que posee librerías tanto para el control de la placa del Driver A4988 como para la pantalla LCD mediante I2C lo que lo hace un dispositivo adecuado para el manejo de los distintos dispositivos que se deben controlar.

Capítulo 6. Materiales

6.1 Introducción

En este capítulo se realiza la descripción de los materiales por los que estarán manufacturadas las piezas más importantes que componen la pinza soldadora orbital.

6.2 Engranaje soldador, Varilla de contacto, Anillo y Rodillos

Normalmente, en las soldadoras automáticas los engranajes están constituidos por cobre o una aleación de éste, el porcentaje de composición de cada uno de los metales de la aleación cambiará sus propiedades como también la temperatura de colada y otros procesos necesarios para la producción del latón [2] [21] [37] [38].

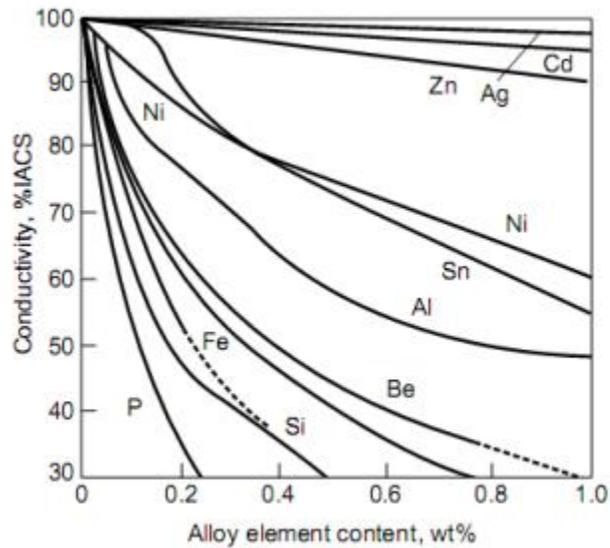


Fig. 6.1 "Conductividad eléctrica del cobre y sus aleaciones".

En la Fig. 6.1 se puede observar cómo se afecta la conductividad del cobre cuando éste es aleado con distintos elementos, dependiendo del elemento con el cual se haga una aleación de cobre las propiedades del compuesto cambiarán, en general, las propiedades que pueden alcanzar estas aleaciones son

- Resistencia a la corrosión
- Conductividad eléctrica
- Conductividad térmica
- Color
- Facilidad de fabricación

Sin dejar de lado que el material con el que se confeccionarán las piezas deberá no solamente conducir la electricidad sino también resistirse a conducir el calor evitando que los componentes interiores de la pinza lleguen a su estado de fusión o se quemen [38].

Material	Conductividad térmica (w/m*k)
Al	247
Cu	398
Au	315
Fe	80
Ni	90
Ag	428
W	178
AISI 1025	51,9
Inox. 316	15,9
Latón 70/30	120
Kovar	17
Invar	10
Super Invar	10

Tabla 6.1 "Conductividad térmica" [38].

Es por esto por lo que una menor conductividad térmica con una mayor conductividad eléctrica y una alta resistencia a la temperatura son las propiedades que se requieren para la automatización del proceso de soldadura orbital.

El material seleccionado para la fabricación tanto del engranaje soldador como de la varilla, el anillo rozante y los rodillos por sus propiedades conductivas y su punto de fusión, es el latón, en su estado β su punto de fusión está en los 870°C, con una conductividad del 95% aproximadamente y una conductividad térmica de 120 w/m-k, esto quiere decir que su composición está por sobre el 39% de Zn (tales como el metal muntz C28000) [37] [38].

6.3 Alma plástica resistente al calor

El alma plástica resistente al calor estará manufacturada en base a un polímero de ingeniería, el cual debe presentar elevadas propiedades de resistencia a la temperatura. Los plásticos de ingeniería son materiales que se utilizan de manera muy específica, se caracterizan por poseer elevadas propiedades para cumplir ciertas labores puntuales, su fabricación requiere de tecnología específica.

Se pretende encontrar un polímero de ingeniería con las mejores características para el tipo de trabajo en base los polímeros ofrecidos por el mercado actual, estos polímeros están categorizados mediante su estructura molecular, los que pueden ser termoplásticos o termoestables. Dentro de los polímeros de alta resistencia a la temperatura se encuentran los siguientes:

Poliamida 6 Nylon PA6:

- Rango de temperatura de trabajo de -40° a 90°

Polietileno alta densidad PEHD

- Rango de temperatura de trabajo de -50°C a 90°C
- Liviano e irrompible
- Muy baja absorción de agua
- Resistente a agentes químicos corrosivos

Poliacetal, Delrin POM

- Rango de temperatura de trabajo de -40°C a 90°C
- Gran factibilidad de mecanización

Polipropileno PP

- Rango de temperatura de trabajo de -10°C a 120°C

Metacrilato PMMA

- Rango de temperatura de trabajo de -40°C a 85°C
- Gran transparencia del 93%, el más transparente de los plásticos
- Resistente a rayos UV
- Inexistencia de daños visibles con una exposición de 10 años al exterior
- Excelente aislante térmico

Policarbonato PC

- Rango de temperatura de trabajo de -40°C a $+130^{\circ}\text{C}$.
- Transparente
- Elevada resistencia a la deformación térmica,
- Buenas propiedades de aislamiento eléctrico

Policloruro de vinilo PVC

- Rango de temperatura de trabajo -20°C a $+80^{\circ}\text{C}$.
- Aislante eléctrico

Polietileno Tereftalato, Mylar® PET

- Rango de temperatura de trabajo -60°C a $+150^{\circ}\text{C}$.
- Alta transparencia.

Polieteretercetona PEEK

- Rango de temperatura de trabajo -60°C a $+250^{\circ}\text{C}$.
- Muy alta resistencia mecánica, rigidez y dureza.
- Muy buena estabilidad dimensional.
- Resistencia intrínseca a la llama
- Aislamiento eléctrico

Polivinilideno de difluorido, Kynar, Hylar PVDF

- Rango de temperatura de trabajo -60°C a $+150^{\circ}\text{C}$
- Alta resistencia a rayos ultravioletas.

Polisulfuro de fenileno PPS

- Rango de temperatura de trabajo -60°C a $+250^{\circ}\text{C}$.
- Muy alta resistencia mecánica, rigidez y dureza.
- Muy buena estabilidad dimensional.
- Resistencia intrínseca a la llama
- Aislamiento eléctrico

Polieterimida, Nylamid PEI

- Rango de temperatura de trabajo -20/+170°C.
- Elevada resistencia a la deformación

El polímero PEEK posee características que lo destacan en cuanto a la resistencia a la temperatura, este plástico puede ser mezclado con otras sustancias las que acentuarán distintas propiedades. El TCAPEEK ST black es un termoplástico semicristalino para altas temperaturas basado en la polietercetonaetercetona (PEKEKK). Ensinger utiliza el polímero VICTREX ST™ para fabricar TCAPEEK ST black. Debido a su elevada temperatura de transición vítrea, tiene excelentes propiedades mecánicas, incluso si la pieza se ve sometida a cargas térmicas. Además, el material PEKEKK también satisface requisitos de procesabilidad, pureza y resistencia química. El punto de fusión, la temperatura de transición vítrea y la resistencia en general de TCAPEEK ST (PEKEKK), así como su capacidad de carga mecánica, son considerablemente mayores que las de TCAPEEK (PEEK) y TCAPEEK HT (PEK). Los componentes mecanizados hechos con PEKEKK suelen combinar una mejor resistencia, rigidez y resistencia a la flexión, así como una temperatura de deformación térmica más alta [39].

Propiedades térmicas	Parámetros	Valor	Unidad
Transición Vítrea		165	°C
Fusión		384	°C
Servicio	Corto tiempo	300	°C
Servicio	Continuo	260	°C
Expansión térmica	23°C - 60°C	5	$10^{-5}k^{-1}$
Expansión térmica	60°C - 100°C	5	$10^{-5}k^{-1}$
Expansión térmica	100°C - 150°C	6	$10^{-5}k^{-1}$
Propiedades Eléctricas			
Resistencia superficial específica		10^4	Ω

Tabla 6.2 "Propiedades TECA PEEK" [39].

En la Tabla 6.2 se muestran las propiedades térmicas y eléctricas del TCAPEEK, las cuales hacen que este polímero sea el con mayores prestaciones para manufacturar el alma plástica, presentando una mínima expansión térmica, una elevada resistencia a los trabajos a altas temperaturas y una elevada resistencia eléctrica [39].

6.4 Soporte exterior

El soporte exterior estará diseñado para sostener en su interior el alma plástica la que en su interior contendrá el sistema de transmisión del movimiento del motor hacia el engranaje soldador, a su vez contendrá el sistema de transmisión de potencia y el sistema de canales que realizarán el correcto cause del gas Argón al engranaje soldador. Por otro lado, el soporte exterior soportara mediante cuatro adaptadores dispuestos como boquillas las tuberías a soldar, estas boquillas estarán confeccionadas en Acero.

Capítulo 7. Circuitería y programación

7.1 Introducción

En el presente capítulo se abordará el diseño, programación y la simulación del circuito de la pieza soldadora. En primera instancia está el control de la pantalla, la que debe estar conectada mediante el driver I2C, de esta forma su manejo e implementación se simplifican tanto en su código de programación como en su conexión, por otro lado, el circuito debe contener una botonera, un motor para el movimiento de los engranajes con su respectivo Driver, dos sensores de estado OPEN/CLOSE como seguridad para iniciar el proceso de soldadura, un contactor para que el microcontrolador pueda comandar el proceso de soldadura y un sensor de posición inicial el cual mediante una varilla activara el switch cuando el engranaje se encuentre en la posición inicial.

7.2 Pantalla LCD 20x4 y Driver I2c

I2C es un Bus de comunicación el cual fue diseñado por Phillips Semiconductors, este bus de comunicación tiene una metodología en serie y síncrona. Una de las señales del bus (SCL) marca el tiempo utilizando pulsos de reloj, mientras la otra señal (SDA) es para intercambiar datos. Las líneas SCL y SDA se mantienen en estado alto generando estado de bus libre, el cual permite que algún maestro pueda comunicarse con algún esclavo. Para iniciar la comunicación el maestro envía un estado bajo en SDA pero mantiene en alto SCL, los siguientes siete bits contendrán la dirección del dispositivo con el que se desea comunicar, luego el octavo bit es de reconocimiento y es enviado por el esclavo e indica al dispositivo maestro que está en condiciones de comunicarse. El bit RW indica si la comunicación es de lectura o escritura [40].

En Arduino existe una librería la cual simplifica la programación y a su vez la conexión de los dispositivos, por lo que se decidió utilizar el BUS de comunicación I2C. Se utilizará el dispositivo PCF8574, el que está diseñado para comunicar maestros con esclavo. La conexión que se debe realizar en el dispositivo de comunicación está plasmada en la Fig. 7.1[41].

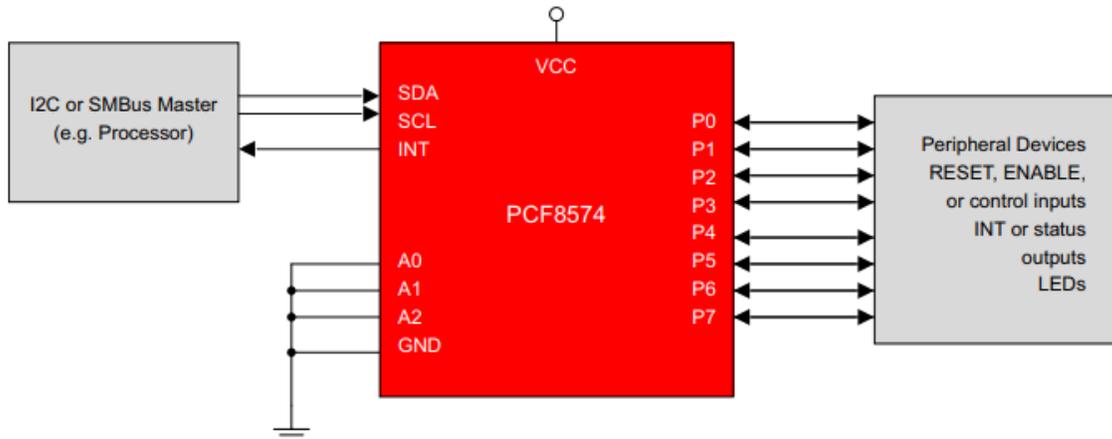


Fig. 7.1 "Dispositivo de comunicación I2C" [41].

El circuito final para comunicar la pantalla y el microcontrolador mediante el Bus I2C se muestra en la Fig. 7.2, donde en esta se pueden observar los efectos de la simulación del código.

La librería necesaria para la programación de la pantalla en el programa Arduino mediante el Driver I2C es `LiquidCrystal_I2C.h`, esta librería contiene las siguientes instrucciones las cuales se utilizarán para programar la pinza soldadora.

- `lcd.init()`; → Inicializa la pantalla
- `lcd.backlight()`; → Iluminar pantalla
- `lcd.noBacklight()`; → Apaga la iluminación de la pantalla
- `lcd.clear()`; → Borrar contenido de la pantalla
- `lcd.setCursor(0,0)`; → Posicionar el cursor en (columna, fila)
- `lcd.print("xxxx")`; → Escribir en pantalla xxxx

7.3 Motor y Driver A4988

Los motores de paso requieren de un control específico del switcheo de excitación de sus bobinas, esto quiere decir que los encendidos y apagados de los pines del motor deben cumplir una sincronización perfecta, esta sincronización se puede llevar a cabo mediante el Driver A4988, el cual a través de una señal de pulsos con cierta frecuencia puede ajustar la velocidad de avance. Esto fue llevado a cabo gracias a la función `Tone()` de Arduino, la cual es capaz de producir una señal cuadrada con un ciclo de trabajo del 50%, una frecuencia especificada por el usuario y el pin de salida de la señal también especificado por el usuario. Por otro lado, la alimentación de los demás pines de entrada del A4988 determinarán el sentido de giro, voltaje de alimentación de las bobinas del motor, tipo de paso, reseteado, inicio desde cero, activación y modo de operación.

La alimentación del motor mediante el Driver A4988 y la conexión de la pantalla con Driver I2C, se encuentran plasmadas en la Fig. 7.2.

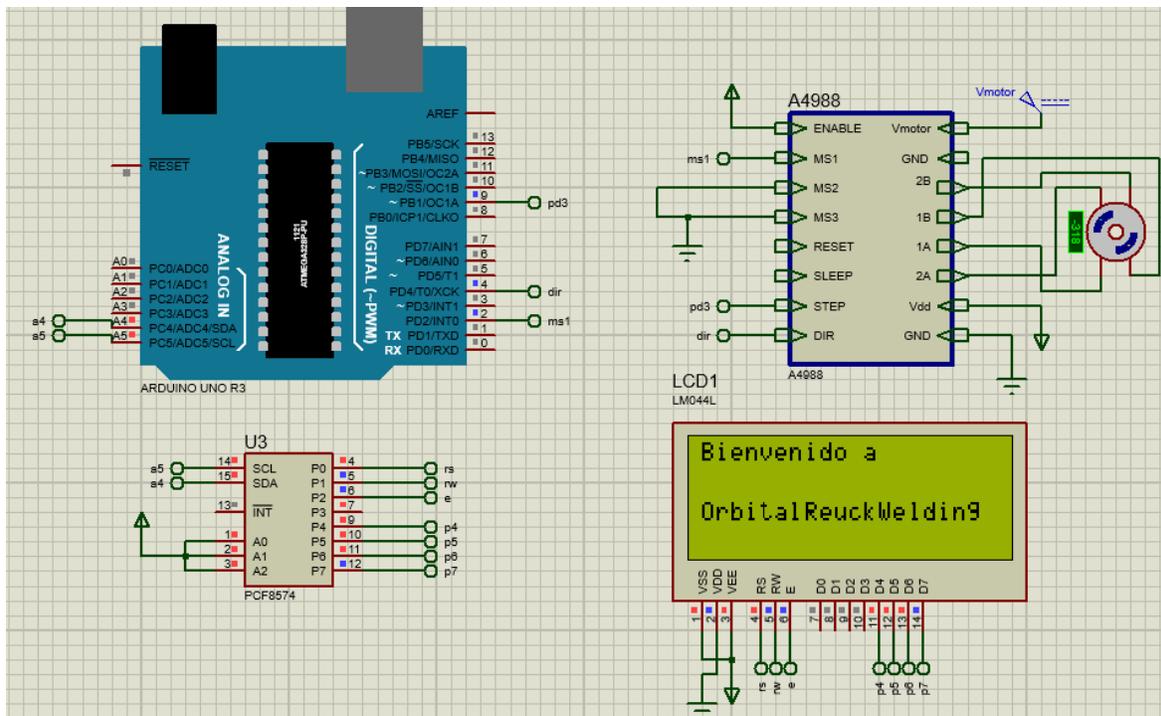


Fig. 7.2 "Circuito Pantalla Bus I2C, A4988 y motor de paso".

7.4 Funcionamiento del Programa

La programación de la pinza soldadora contempla una pinza programable, la que mediante un sistema de botoneras determinará dos parámetros: diámetro de la tubería y velocidad de avance para realizar la soldadura. Dentro del programa, el sistema debe tener las siguientes opciones:

- Configuración de parámetros de las tuberías
 - Diámetro
 - Velocidad de soldadura para el material
- Avance libre del tungsteno
- Proceso de soldado
- Display indicador
 - Diámetro programado
 - Velocidad programada
 - Indicador posición inicial del engranaje
 - Frecuencia calculada a la que debe pulsar Arduino
 - Estado de seguridad de la pinza
- Seguridad de la pinza
- Encendido y apagado

Mediante cuatro botones, como muestra la Fig. 7.3, se configura los parámetros mencionados anteriormente. La botonera está diseñada para que cada uno de estos botones cumpla las siguientes funciones

- Velocidad $+1\frac{[mm]}{[seg]}$:
Al presionar este botón el valor de la velocidad programada para soldar incrementa $1\frac{mm}{seg}$, Este valor influye en el cálculo de la frecuencia requerida para inyectar los pulsos al driver del motor de pasos
- Velocidad $-1\frac{[mm]}{[seg]}$:
Al presionar este botón el valor de la velocidad programada para soldar disminuye $1\frac{mm}{seg}$, este parámetro puede alcanzar su valor mínimo en $0\frac{mm}{seg}$. Este valor influye en el cálculo de la frecuencia requerida para inyectar los pulsos al driver del motor de pasos
- Diámetro $+1_{cm}$:
Al presionar este botón el valor del diámetro programado aumenta 1_{cm} . Este valor influye en el cálculo de la frecuencia requerida para inyectar los pulsos al driver del motor de pasos, el máximo valor que puede adquirir este parámetro es 4.6 cm.
- Diámetro $+0.1_{cm}$:
Al presionar este botón el valor del diámetro programado aumenta 0.1_{cm} . Este valor influye en el cálculo de la frecuencia requerida para inyectar los pulsos al driver del motor de pasos, el parámetro que edita este botón es el mismo que el descrito en el punto anterior, por lo que el máximo valor que puede adquirir este parámetro es 4.6 cm.

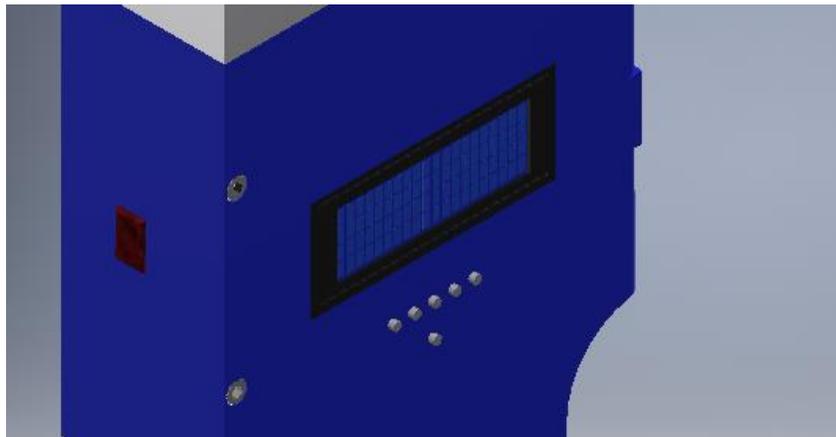


Fig. 7.3 "Botonera".

Para llevar a cabo la soldadura es necesario realizar cálculos para determinar tanto la velocidad de inyección de los pulsos mediante la frecuencia de alimentación del Driver controlador de motor, como el tiempo que lleva elaborar el proceso completo. Es por esto que el dispositivo requiere del ingreso de los datos solicitados en la Fig. 7.4 para posteriormente realiza de forma interna las siguientes ecuaciones dentro del microcontrolador.

Cálculo de la velocidad angular

$$\omega = v \cdot \frac{2}{d} \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi} \quad (24) [29]$$

Cálculo de los grados por segundo a los que girará el engranaje soldador

$$\omega_{g1} = \frac{\omega \cdot 360}{60} \quad (25)$$

Tiempo de soldadura total

$$\frac{360}{\omega_{g1}} \quad (26)$$

Cálculo de los grados por segundo a los que girará el motor

$$\omega_{g2} = \frac{\omega_{g1}}{0.2} \quad (27)$$

Cálculo de frecuencia

$$f = \frac{\omega_{g2}}{1.8} \quad (28)$$

```
Velocidad: 6.00mm/se9  
Diametro: 3.20cm  
frec motor: 59Hz  
Seguridad: ON
```

Fig. 7.4 "Configuración de parámetros".

El proceso de soldado se encuentra limitado mediante la programación para que éste no pueda llevarse a cabo mientras la pinza soldadora no se encuentre cerrada, de esta forma, el proceso se realiza en un medio cerrado el que asegura la inyección de gas y aislación de los rayos liberados por el proceso. Todo esto es permitido por un par de sensores de apertura, los que se activan y desactivan mediante la presión que se ejerce sobre estos. Lo sensores están compuestos de dos botoneras las cuales se presionan al cerrar el soporte y dejan de presionarse cuando el soporte está abierto.

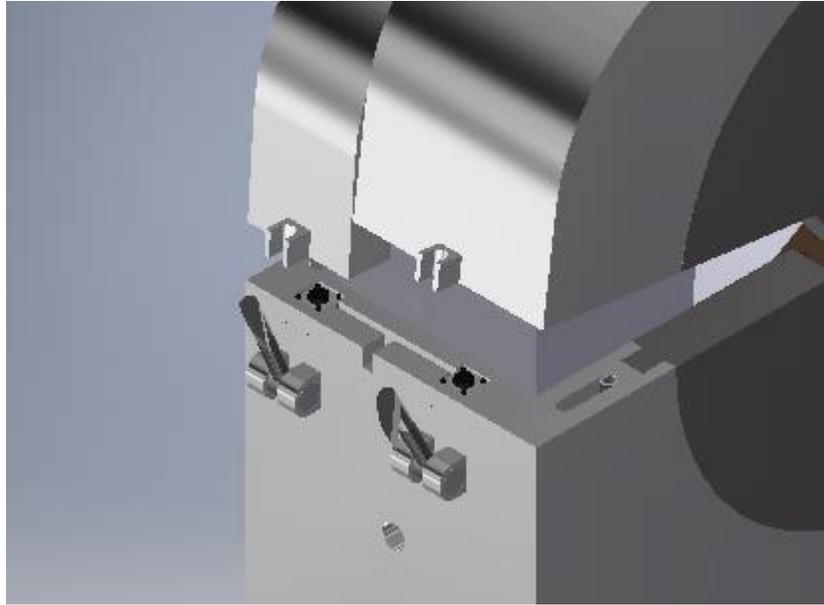


Fig. 7.5 "Sensores de cierre".

Para llevar a cabo el proceso de soldado, en primera instancia, se debe montar la pinza sobre las tuberías que se desean soldar, de esta forma se da pie para encender la pinza mediante un switch ON/OFF el que debe estar en estado ON para realizar la programación de la pinza. Ya estando la pinza montada en la tubería y el Switch en estado ON, se procede a programar los parámetros velocidad y diámetro. Programados los parámetros requeridos se presiona el botón "soldar" (botón inferior Fig. 7.3), el que iniciará el proceso siempre y cuando los sensores de cierre (ver Fig. 7.5) del soporte se encuentren activados. En primera instancia confirmará la posición inicial, estando fuera de la posición inicial el dispositivo hará girar hasta llegar a esta, luego, el sistema dará contacto al relé que comanda el arco eléctrico, el sistema avanzará con el relé en estado ON hasta cumplir una vuelta completa en torno a las tuberías que se desean unir. En la Fig. 7.6 se puede observar la pinza en proceso de soldadura.

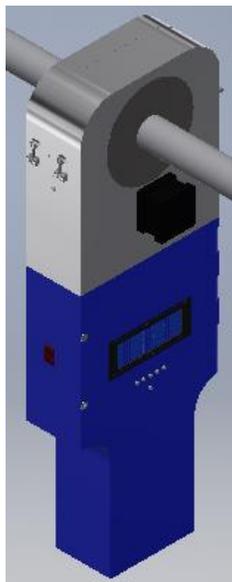


Fig. 7.6 "Pinza soldando".

El sistema confirmará el avance del proceso de soldadura mediante un display, el que irá exponiendo por pasos los procesos realizados al interior de la pinza, como muestra la Fig. 7.7.

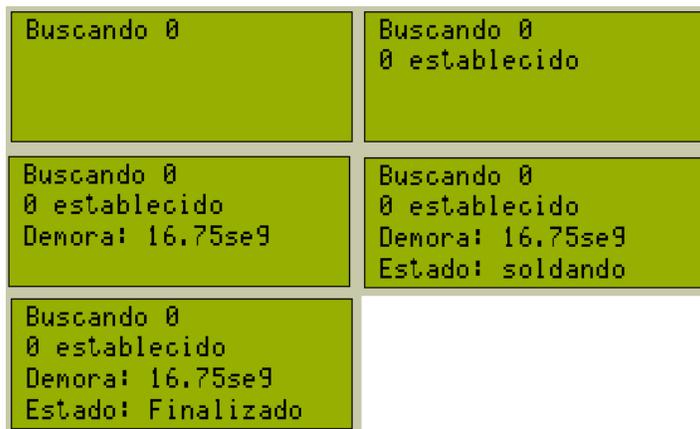


Fig. 7.7 "Indicadores de proceso de soldadura".

El código programado mediante el software Arduino se encuentra descrito por línea adjunto en el Anexo I.

7.5 Circuito

El circuito desarrollado mediante el software Proteus Professional 8 está diseñado en base a los requerimientos de funcionalidad del dispositivo soldador orbital que se encuentra descrito en los puntos anteriores del presente capítulo. El circuito final encuentra adjunto en el Anexo II.

Capítulo 8. Conclusiones

En este trabajo se presentó el diseño del prototipo de un dispositivo de posicionamiento de soldadura para la unión de tubos, el cual se lleva a cabo mediante el proceso TIG automatizado.

La automatización del dispositivo fue implementada integrando elementos los cuales, mediante un controlador programable, pueden ser manipulados dependiendo de las variables de entrada que sean facilitadas por el usuario. Los elementos integrados para desarrollar el dispositivo fueron:

- Motor
- Driver controlador de motor
- Microcontrolador Arduino
- Sistema de transmisión
- Sistema de transmisión de gas Argón
- Conexiones de soldadura estándar
- Soporte de tuberías

Todos estos elementos componen finalmente del resultado del desarrollo del prototipo del dispositivo soldador orbital.

Los resultados obtenidos en primera instancia sobre los “Análisis del Proceso de Soldadura TIG”, “Estado del Arte” y “Análisis previo al diseño” fueron los parámetros necesarios para el marco teórico del desarrollo del “Diseño de la Soldadora Orbital Automática TIG”. De estos capítulos se pueden desprender algunos puntos clave de la selección de componentes y materiales como también las características que deben poseer las piezas para su posterior diseño.

- Debido a su versatilidad en el control de posición y velocidad, sin la necesidad de sensores, se decidió utilizar un motor de pasos, el que genera movimiento mediante la inyección de pulsos, donde contandolos se puede determinar la posición y mediante la frecuencia con la que se inyectan estos al motor, se puede determinar la velocidad a la que el motor girará. En cuanto al motor DC común, este requiere de al menos un sensor extra del tipo Encoder, el que requiere de un código extra para sensar a la velocidad que se cuentan los haces de luz. En cuanto al servomotor este requiere también de un código de control más extenso para poder manipular su velocidad, lo que lo hace menos ventajoso, además este tipo de motores trae un juego de engranajes que disminuye su capacidad de obtener mayores velocidades de giro. Tan solo mediante un sensor final de carrera, un Driver de control y una sola línea de código se puede determinar la velocidad a la que se requiere que gire el motor, es por esto que el motor seleccionado para generar el movimiento es el motor de pasos.
- El diseño del engranaje soldador debe desarrollarse en forma de U ya que así se minimizan riesgos asociados a la manipulación de piezas calientes, por otro lado, el tiempo de montaje del dispositivo disminuye considerablemente.
- Las dimensiones del dispositivo fueron establecidas mediante la proporcionalidad entre las tuberías a soldar y los espacios necesarios para mantener los sistemas en su posición.

- El material por el cual estará compuesta el alma plástica se estableció como PEEK, ya que éste es capaz de soportar las temperaturas que se pudieron medir de forma empírica en el taller de máquinas, además, sirve de aislante eléctrico entre el engranaje soldador y el exterior del dispositivo.
- Se seleccionó los conectores BSP ya que estos son utilizados generalmente para los dispositivos de soldadura, lo que facilita la conexión del dispositivo a las maquinas comunes.
- El cableado de alimentación del dispositivo posee una canalización tubular flexible la que contiene en su interior un ducto de gas recubierto por el cable de poder, así el conjunto de conexión es más simple, por lo que se disminuye la probabilidad de sufrir tropiezos y enredos.
- Se descartó la implementación de un sistema de enfriamiento por liquido ya que los datos obtenidos de forma empírica en el punto 4.4 determinaron que el sistema no requería de este enfriamiento, debido a que todos los materiales seleccionados para formar el dispositivo poseen un límite de fusión superior a las mediciones obtenidas.
- Para la activación del arco eléctrico se seleccionó un relé, el cual soporta hasta los 200A y 95V, ya que según los aspectos técnicos de las maquinas analizadas, estas no superan los 95V de salida y a su vez no se requiere de una corriente superior a los 200A para el tipo de soldadura.
- Para el correcto manejo del motor de pasos se decidió trabajar con un A4988 por su versatilidad en su forma de funcionamiento, este Driver es capaz de aumentar la resolución mediante tres bits de entrada que determinaran el tipo de paso (desde un paso completo hasta un dieciseisavo paso).
- El motor Nema 17 fue seleccionado por hallarse comúnmente en el mercado, con un paso de 1.8° , una fuerza de 1kgf y un eje surcado.
- Tanto los engranajes como el anillo rozante, los rodillos y las conexiones a alimentación se deben estar manufacturadas en cobre, debido a sus propiedades electro conductoras y temperatura de fusión (descrito en 6.2).
- El soporte exterior debe ser confeccionado en Aluminio, para disminuir peso, facilitar la maniobrabilidad y dar una terminación elegante.
- Las boquillas que sostienen las tuberías deben ser confeccionadas por acero, ya que éste posee buenas propiedades térmicas, con una alta temperatura de fusión y una baja conductividad.

Por otro lado, el diseño fue realizado de forma tal que, para su viabilidad en cuanto a la manufactura de sus componentes, esto quiere decir que se tuvo que tener en cuenta que el diseño pueda ser llevado a cabo mediante los procesos de fabricación existentes, en conjunto con que las propiedades de los materiales seleccionados cumplieran con la posibilidad de ser maquinados. De esta forma el presente informe da pie al futuro desarrollo del dispositivo para realizar las pruebas empíricas dando como resultado las modificaciones necesarias para la realización del diseño final.

Trabajos Futuros

- Para la realización de la programación del dispositivo soldador se utilizó el comando Tone() de Arduino, el cual puede ser mejorado mediante la creación de una nueva sección de código la cual funcione con interrupciones para realizar los estados altos y bajos, de esta forma generar la frecuencia calculada por el microcontrolador.
- Llevar a cabo la manufactura del diseño realizado en este proyecto de memoria para así establecer nuevos detalles para sus mejoras. A su vez realizar el montaje de los sistemas y circuitería.
- Determinar el rango de los diámetros permitidos para realizar su soldadura que dependerá del calentamiento empírico del cabezal.
- Establecer un cuadro de Amperaje y velocidad de avance para diferentes diámetros y espesores e incluso materiales, mediante ensayos experimentales.
- Desarrollar la mejora del sistema de soldadura mediante luz pulsada, la cual requiere de la generación de un arco eléctrico pulsado mediante dos inyecciones de amperaje, base y pulso. Este método mejora los resultados de la calidad de soldadura [3].
- Realizar un sistema de monitoreo de la soldadura en tiempo real.

Bibliografía

- [1] Pontificia Universidad Católica de Chile, «TPI UC,» Pontificia Universidad Católica de Chile, 17 08 2018. [En línea]. Available: <http://tablaperiodica.quimica.uc.cl/>. [Último acceso: 13 6 2018].
- [2] L. Jeffus, Gas Tungsten ARG Welding Classroom Manual, Madrid: Paraninfo, 2010.
- [3] Fondo Social Europeo, «Xunta de Galicia,» 1 septiembre 2012. [En línea]. Available: https://www.edu.xunta.gal/centros/cafi/aulavirtual2/pluginfile.php/14624/mod_folder/content/0/3.%20PROCESO%20TIG.pdf?forcedownload=1. [Último acceso: 5 6 2018].
- [4] LIBURDI, «LIBURDI,» LIBURDI, N/A N/A 2018. [En línea]. Available: <http://liburdi.com/welding-systems-automation-intro>. [Último acceso: 12 5 2018].
- [5] GIFTTOOL, «GIFTTOOL,» GIFTTOOL, 1 1 2018. [En línea]. Available: <http://www.gfitool.com/>. [Último acceso: 2 3 2018].
- [6] AMI, «ARC MACHINES INC.,» ARC MACHINES INC., 1 1 2018. [En línea]. Available: <http://www.arcmachines.com/>. [Último acceso: 10 3 2018].
- [7] OTTO ARC, «OTTO ARC,» OTTO ARC, 1 1 2018. [En línea]. Available: <http://www.ottoarc.com/>. [Último acceso: 2 4 2018].
- [8] orbitalum, «orbitalum,» orbitalum, 1 1 2018. [En línea]. Available: <http://www.orbitalum.de/#>. [Último acceso: 4 4 2018].
- [9] G. Kazlauskas, «Welding Head Apparatus». USA Patente 3688069, 29 Agosto 1972.
- [10] G. Kazlauskas, «Welding Head». USA Patente 3400237, 3 9 1968.
- [11] E. A. Benway y T. J. Gardner, «RIGID COLLETASSEMBLY FOR CYLINDRICAL WORKPIECES». USA Patente 4868367, 19 9 1989.
- [12] R. G. Rohberg, «WELDED CONNECTION METHOD AND APPARATUS». USA Patente 3194936, 13 7 1965.
- [13] R. G. Rohberg, «WELDING APPARATUS». USA Patente 3238347, 1 3 1966..
- [14] L. W. Spiro, «ORBITAL WELD HEAD». USA Patente 3461265, 12 8 1969.
- [15] Arduino, «Arduino,» Arduino, 1 1 2018. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/advanced-io/tone/>. [Último acceso: 4 5 2018].
- [16] Allegro, «DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection,» Copyright, Massachusetts, 2014.
- [17] P. C. Rodriguez, *Manual de Soldadura*, Buenos Aires: Alsina, 2001.
- [18] Demaquinasyherramientas, «De Maquinas y Herramientas,» Demaquinasyherramientas, N/A N/A 2014. [En línea]. Available: <http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/elegir-seleccionar-comprar-antorcha-tig>. [Último acceso: 2 6 2018].
- [19] INDURA, *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura*, Santiago: Ograma, 2013.
- [20] MILLER, «MANUAL DEL OPERADOR Serie Diamondback Antorchas TIG,» MILLER, USA, 2004.

- [21] M. Y. Sanchez, R. Garcia, J. P. Medina, A. Miranda y I. Oliva, «Gases Inertes en la Industria,» Universidad Nacional Autonoma de Mexico, N/A, N/A.
- [22] INDURA, Manual de sistemas y materiales de soldadura, Santiago: INDURA, 2017.
- [23] Indura, «Ficha Producto ARCTIG 130 PRO,» Indura, Cerrillos, 2018.
- [24] KEMPPI, «Minarc Evo 180 / Características Técnicas,» KEMPPI, N/A, 2018.
- [25] eKipro, «Equipo de Soldadura,» eKipro, N/A, N/A.
- [26] Indura, «Equipos línea Indura Proceso de soldadura TIG,» Indura, N/A, N/A.
- [27] S. Jennings, «MOTORES PASO A PASO,» *Informador Técnico*, vol. I, n° 65, pp. 47-58, 2002.
- [28] M. Schöttner, «Control para motor paso a paso,» FESTO, Esslingen, 2003.
- [29] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shingley, Álvaro Obregón: Mc Graw Hill, 2008.
- [30] Wikipedia, «Wikipedia,» Wikipedia, 26 1 2018. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Radi%C3%A1n_por_segundo. [Último acceso: 2 6 2018].
- [31] convert-me, «Grados por segundo. Conversor de unidades.,» convert-me, 1 1 2018. [En línea]. Available: https://www.convert-me.com/es/convert/angular_velocity/degpersec.html?u=degpersec&v=1. [Último acceso: 1 5 2018].
- [32] Servicio de Prevención de Riesgos Laborales de la UPV., «Universitat Politècnica de València,» Universitat Politècnica de València, N/A N/A 2012. [En línea]. Available: https://www.sprl.upv.es/IOP_ELEC_02.htm. [Último acceso: 13 6 2018].
- [33] Autodesk, «EDUCACIÓN,» Autodesk, N/A N/A 2018. [En línea]. Available: <https://www.autodesk.mx/education/free-software/featured>. [Último acceso: 12 6 2018].
- [34] Roberto de Diego, «Roscas,» Roberto de Diego, N/A N/A N/A. [En línea]. Available: <http://polamalau.50webs.com/OF1/mecanica/rosкас.htm#Rosкас>. [Último acceso: 10 5 2018].
- [35] HB Stepper Motor Catalog, «HB Stepper Motor Catalog,» HB Stepper Motor Catalog, N/A, 2016.
- [36] Arduino, «Arduino,» Arduino, N/A N/A N/A. [En línea]. Available: <http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>. [Último acceso: 13 6 2018].
- [37] E. P. M. Pozo, «Caracterización del Latón,» *Revista Metalurgica*, vol. I, n° 30, pp. 57-63, 2011.
- [38] E. G. Maffia, «Cobre y sus aleaciones,» Ernesto Gustavo Maffia, N/A, 2013.
- [39] Ensinger, «Ensinger,» Ensinger, N/A N/A 2018. [En línea]. Available: <https://www.ensingerplastics.com/es-es/semielaborados/plastico/peek-tecapeek-st-black>. [Último acceso: 12 5 2018].
- [40] Robots Argentina, «Robots Argentina,» Robots Argentina, 1 1 2017. [En línea]. Available: http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion_busI2C.htm. [Último acceso: 12 4 2018].

- [41] Texas Instruments, «ti,» 1 1 2017. [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcf8574.pdf>. [Último acceso: 12 7 2018].
- [42] Bove-ag s.l., «Bove-ag s.l. Plásticos y Elastomeros,» Bove-ag s.l., 1 1 2018. [En línea]. Available: http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos_coeficiente_friccion.html. [Último acceso: 22 11 2017].

Anexo A “Código Arduino”

Sección 1 Del código.....	1A
Sección 2 Del código.....	2A
Sección 3 Del código.....	3A
Sección 4 Del código.....	4A
Sección 5 Del código.....	5A

Sección 1 Del código

```
#include <Wire.h> //Configuración inicial
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //PWM para mover motor
const int set0=36; //Punto central
const int Avanzar = 37; //Botón Avanzar
const int Soldar = 38; //Botón para iniciar soldadura
const int Estado = 25; //Encendido y apagado pinza
const double pi=3.1415; //Pi
const int Paso = 26; //Señal al Driver
const int Direccion = 32; //Sentido de giro
const int Ms1 = 34; //Tipo de paso
const int Boton1 = 33; //Botón Velocidad+1
const int Boton2 = 31; //Botón Velocidad-1
const int Boton3 = 30; //Botón Diametro+1
const int Boton4 = 29; //Botón Diámetro +0.1
const int rele = 27; //Relé soldador
const int seguridad1 = 24; //Seguridad 1
const int seguridad2 = 23; //Seguridad 2
const int Enable = 22; //Enable
int frec = 0; //Variable
double Velocidad = 0; //Variable
double VelocidadW=0; //Variable
double gradosporsegsoldador=0; //Variable
double gradosporegmotor=0; //Variable
double pasosporeg=0; //Variable
int asegurado = 0; //Variable
int av=0; //Variable
double Diametro=0; //Variable
double tiempodesoldadura = 0; //Variable
LiquidCrystal_I2C lcd (0x27, 20, 4); //Config. pantalla

void setup() {
  pinMode(Avanzar, INPUT); //Entrada
  pinMode(Paso, OUTPUT); //Salida
  pinMode(Direccion, OUTPUT); //Salida
  pinMode(Ms1, OUTPUT); //Salida
  pinMode(Enable, OUTPUT); //Entrada
  pinMode(Boton1, INPUT); //Entrada
  pinMode(Boton2, INPUT); //Entrada
  pinMode(Boton3, INPUT); //Entrada
  pinMode(Boton4, INPUT); //Entrada
  pinMode(rele, OUTPUT); //Salida
  pinMode(Estado, INPUT); //Entrada
  pinMode(seguridad1, INPUT); //Entrada
```

Sección 2 Del código

```
pinMode(seguridad2, INPUT); //Entrada
pinMode(set0, INPUT); //Entrada
digitalWrite(Ms1, LOW); //Estado inicial
digitalWrite(Direccion, HIGH); //Estado inicial
lcd.init(); //Conf. inicial Pantalla
lcd.backlight(); //Conf. inicial Pantalla
lcd.clear(); //Borrar pantalla
lcd.setCursor(0,0); //Cursor (0,0)
lcd.print("Bienvenido a"); //Imprimir en pantalla
lcd.setCursor(0,2); //Cursor (0,2)
lcd.print("OrbitalReuckWelding"); //Bienvenida
delay(1000); //Espera 1seg
}
void loop() {
//-----Todo OFF-----
lcd.clear();
lcd.noBacklight();
lcd.noDisplay();
digitalWrite(Enable, LOW);
//-----Todo ON-----
while( digitalRead(Estado)==HIGH){ //Switch ON/OFF estado ON
lcd.display(); //Encendido pantalla
lcd.backlight(); //Encendido pantalla
digitalWrite(Enable, HIGH); //Encendido Driver
lcd.setCursor(0,0); //Imprimir Velocidad y seguridad en pantalla
lcd.print("Velocidad:"); //Velocidad
lcd.print(Velocidad); //Velocidad
lcd.print("mm/seg"); //Imprimir pantalla
lcd.setCursor(0,3); //Seguridad
lcd.print("Seguridad: "); //Seguridad
if(digitalRead(set0)==HIGH){ //Engranaje en 0
lcd.setCursor(16, 3); //Llevar cursor
lcd.print("In 0"); //Imprimir pantalla
}
if(digitalRead(set0)==LOW){ //Engranaje no centrado
lcd.setCursor(16, 3); //Llevar cursor
lcd.print(" "); //Imprimir pantalla
}
if((digitalRead(seguridad1)==HIGH) && (digitalRead(seguridad2)==HIGH)){ //Si las 2 tapas se encuentran cerradas
asegurado = 1; //Sistema asegurado
lcd.setCursor(10,3); //Llevar cursor
lcd.print("ON "); //LCD "Set ON"
}
}
```

Sección 3 Del código

```
else{ //Si al menos una tapa se encuentra abierta
lcd.setCursor(10,3); //Seguridad OFF
lcd.print("OFF"); //LCD "OFF"
asegurado=0;} //Valor de seguridad
if(digitalRead(Boton1)==HIGH){ //Botón Velocidad +1
Velocidad++; //Velocidad +1
delay(125); //Delay
}
if(digitalRead(Boton2)==HIGH && Velocidad>0){
Velocidad--; //Boton Velodica -1
//Velocidad -1
delay(125); //Delay
}
lcd.setCursor(0,1); //LCD "Radio:"
lcd.print("Diametro:"); //LCD "Radio:"
lcd.print(Diametro); //LCD "Radio"
lcd.print("cm"); //Imprimir pantalla
if(digitalRead(Boton3)==HIGH){ //Boton Radio +1
Diametro++; //Radio +1
if(Diametro>=4.6){ //Si el diametro supera 4.6cm
Diametro=0; } //Valor por defercto 0
delay(125); //Delay
if(digitalRead(Boton4)==HIGH && Diametro<=4.6){
//Botón Radio +0.1
Diametro=Diametro+0.1; //Radio +0.1
if(Diametro>=10){
Diametro=0;}
delay(125); //Delay
VelocidadW=(Velocidad/10)*(2/Diametro)*(60/(2*pi));
//Velocidad angular RPM
gradosporegsoldador = (VelocidadW*360)/60;
//Grados por segundo engranaje soldador
tiempodesoldadura = 360/gradosporegsoldador;
//Tiempo necesario para soldar
gradosporegmotor = (gradosporegsoldador/0.2);
//Grados por segundo engranaje motor
pasosporeg=pasosporegmotor/1.8; //Pasos por segundo motor de paso 1.8°
frec = pasosporeg; //Frecuencia necesaria para alcanzar v
if(frec<58){ //Frecuencia minima en la función tone()
frec=58;
}
lcd.setCursor(0,2); //LCD "Frecuencia motor"
lcd.print("frec motor:"); //LCD "Frecuencia motor"
lcd.print(frec); //LCD "Frecuencia motor"
```

Sección 4 Del código

```

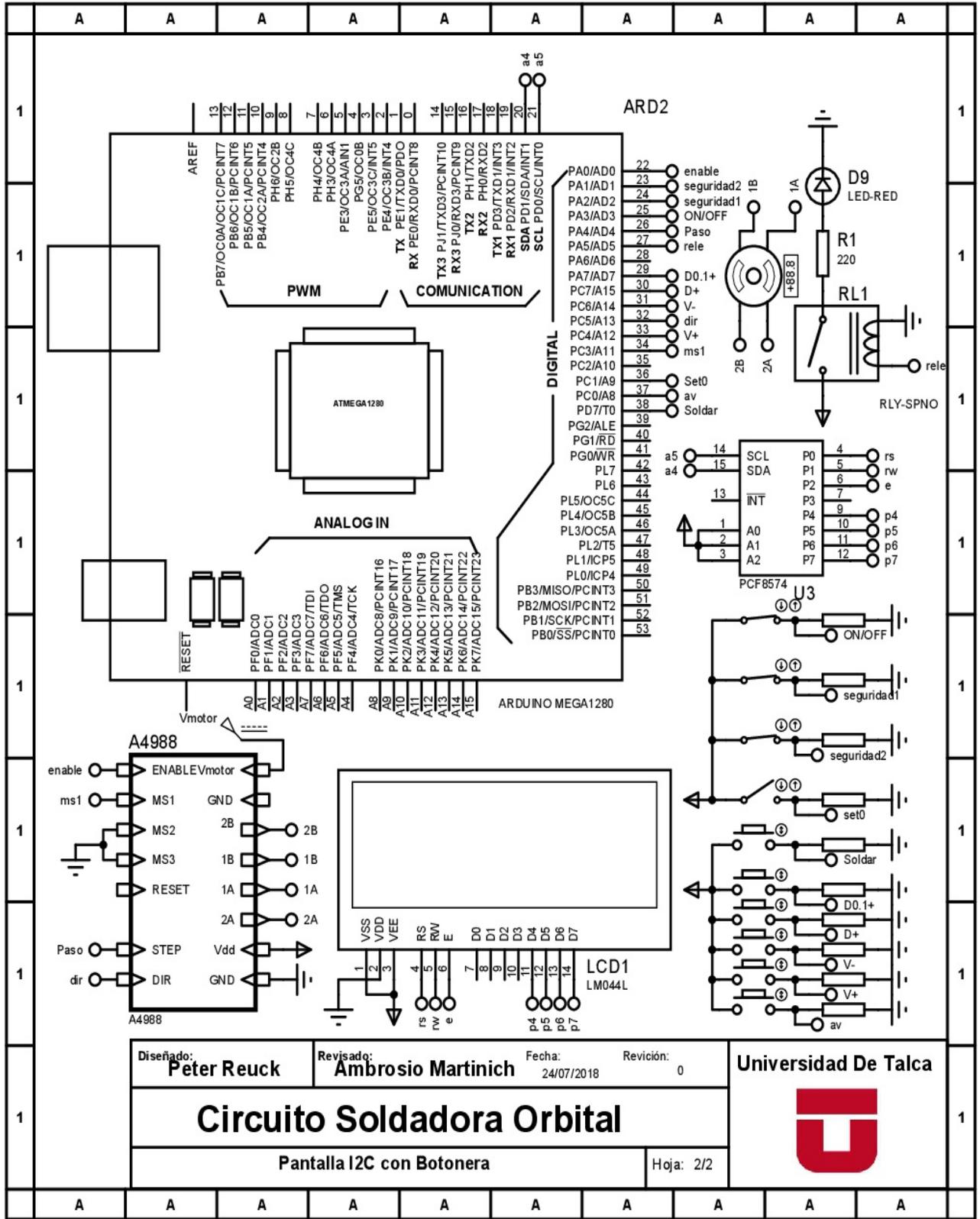
lcd.print("Hz"); //LCD "Frecuencia motor"
if(digitalRead(Avanzar) == HIGH){ //Acomodar Tungsteno
  tone(Paso, frec);} //Avanzar
if(digitalRead(Avanzar)==LOW ){ //Limite set0 parar de avanzar
  noTone(Paso);} //Dejar de avanzar
if(digitalRead(set0)==HIGH && digitalRead(Avanzar)==HIGH){
  //Si está en el punto 0 y avanzar
  noTone(Paso); //Detener motor
  if(digitalRead(set0)==HIGH){ //Si set0 lcd Set 0
    lcd.setCursor(16, 3); //Llevar cursor
    lcd.print("In 0");} //imprimir pantalla
    delay(1000); //Delay
    tone(Paso, frec); //Avanzar
  }
  if(digitalRead(Soldar)==HIGH && digitalRead(seguridad1)==HIGH &&
digitalRead(seguridad2)==HIGH ){
  //Confirmación de seguridad iniciar soldadura
  lcd.clear(); //Limpiar pantalla
  lcd.setCursor(0,0); //Llevar cursor
  lcd.print("Buscando 0 "); //Imprimir pantalla
  while(digitalRead(set0)==LOW){ //Si el engranaje fuera del punto inicial
    tone(Paso, 1000); //Avanzar el engranaje
  }
  noTone(Paso); //Hasta llegar a la posición inicial de soldadura
  lcd.setCursor(0,1); //Llevar cursor Lcd(0,1)
  lcd.print("0 establecido "); //Imprimir en pantalla
  delay(2000); //Espera 2seg
  lcd.setCursor(0,2); //Llevar cursor
  lcd.print("Demora: "); //Imprimir pantalla
  lcd.print(tiempodesoldadura); //Imprimir pantalla
  lcd.print("seg"); //Imprimir pantalla
  delay(1000); //Espera 1seg
  lcd.setCursor(0,3); //Llevar cursor
  lcd.print("Estado: "); //Imprimir pantalla
  lcd.print("soldando "); //Imprimir pantalla
  digitalWrite(rele, HIGH); //Inicial Arco eléctrico
  tone(Paso, frec); //Avanzar Velocidad=frec.
  delay(100); //Espera 0.1seg
  while(digitalRead(set0)==LOW){ //Mientras gire 1 vuelta completa
  }
  delay(10); //Espera 10ms
  digitalWrite(rele, LOW); //Al llegar a posición inicial apagar Arco
  noTone(Paso); //Dejar de avanzar
  lcd.setCursor(8,3); //Llevar cursor

```

Sección 5 Del código

```
    lcd.print("Finalizado ");           //Iprimir pantalla
    delay(5000);                        //Espera 5seg
    lcd.clear();                         //Limpiar pantalla
  }
  }                                     //Fin Pinza encendida
}                                       //Fin Programa
```

Anexo B "Circuito Proteus"



Diseñado: **Peter Reuck** Revisado: **Ambrosio Martinich** Fecha: 24/07/2018 Revisión: 0

Universidad De Talca

Circuito Soldadora Orbital

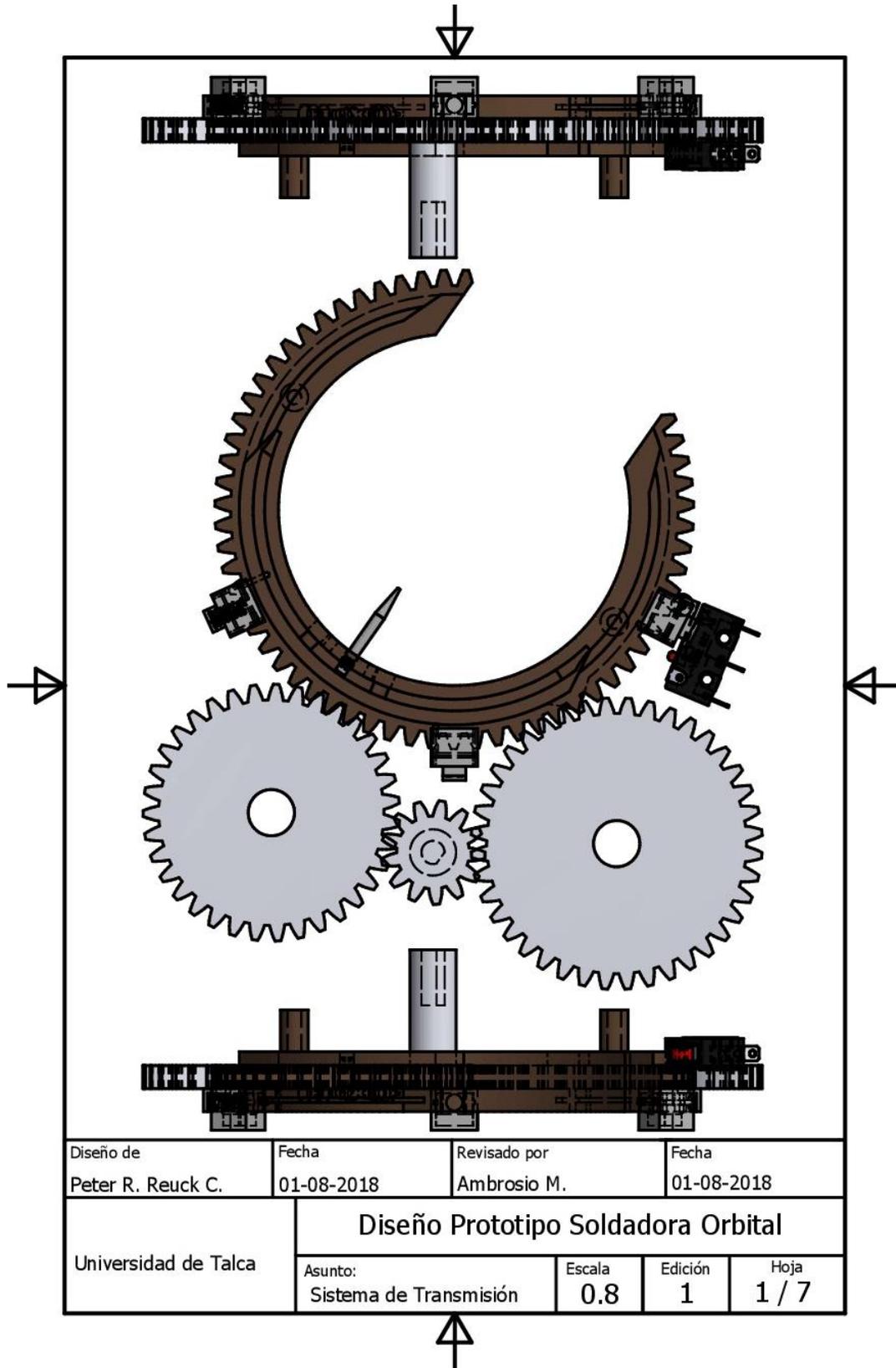
Pantalla I2C con Botonera

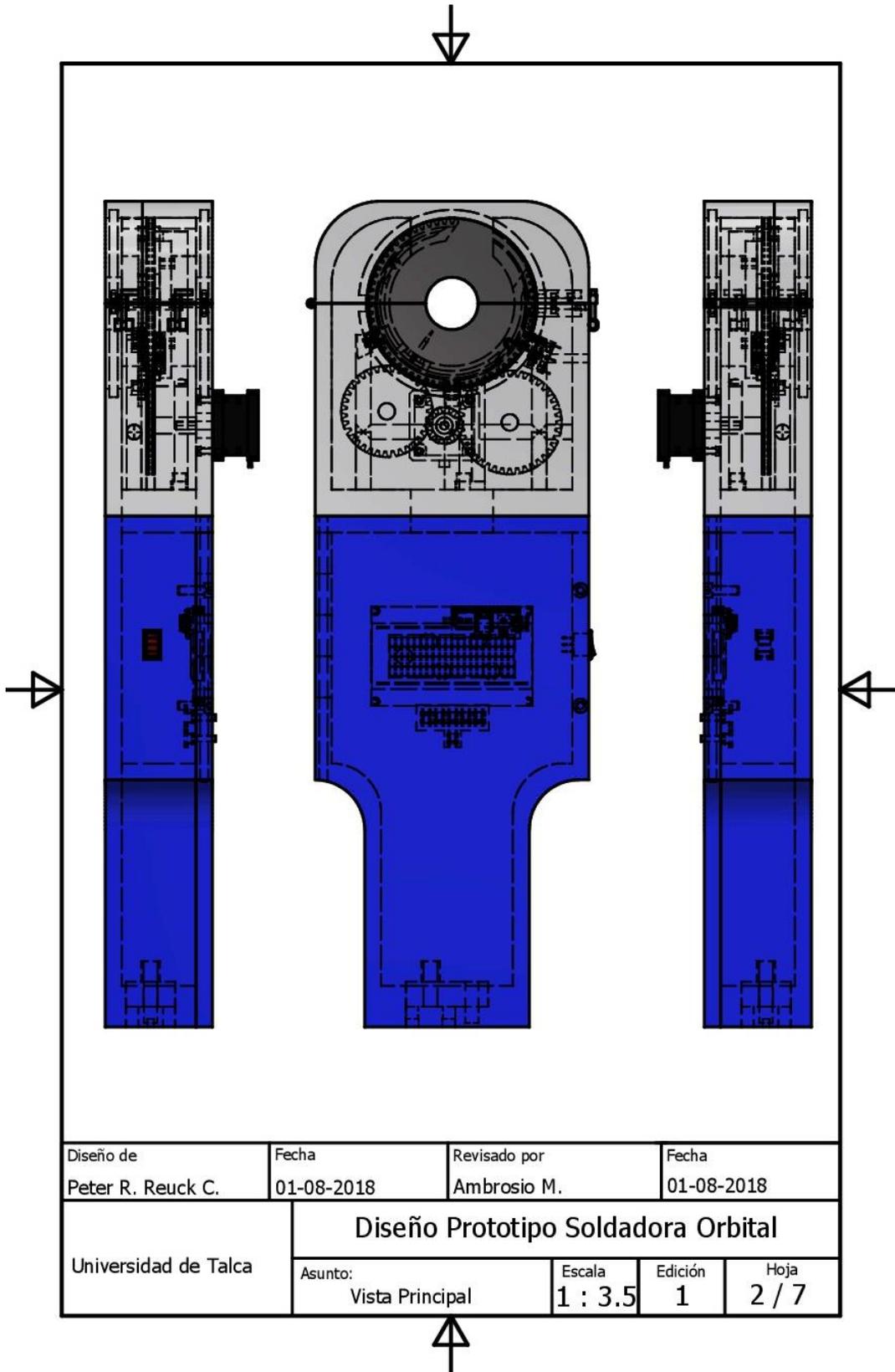
Hoja: 2/2

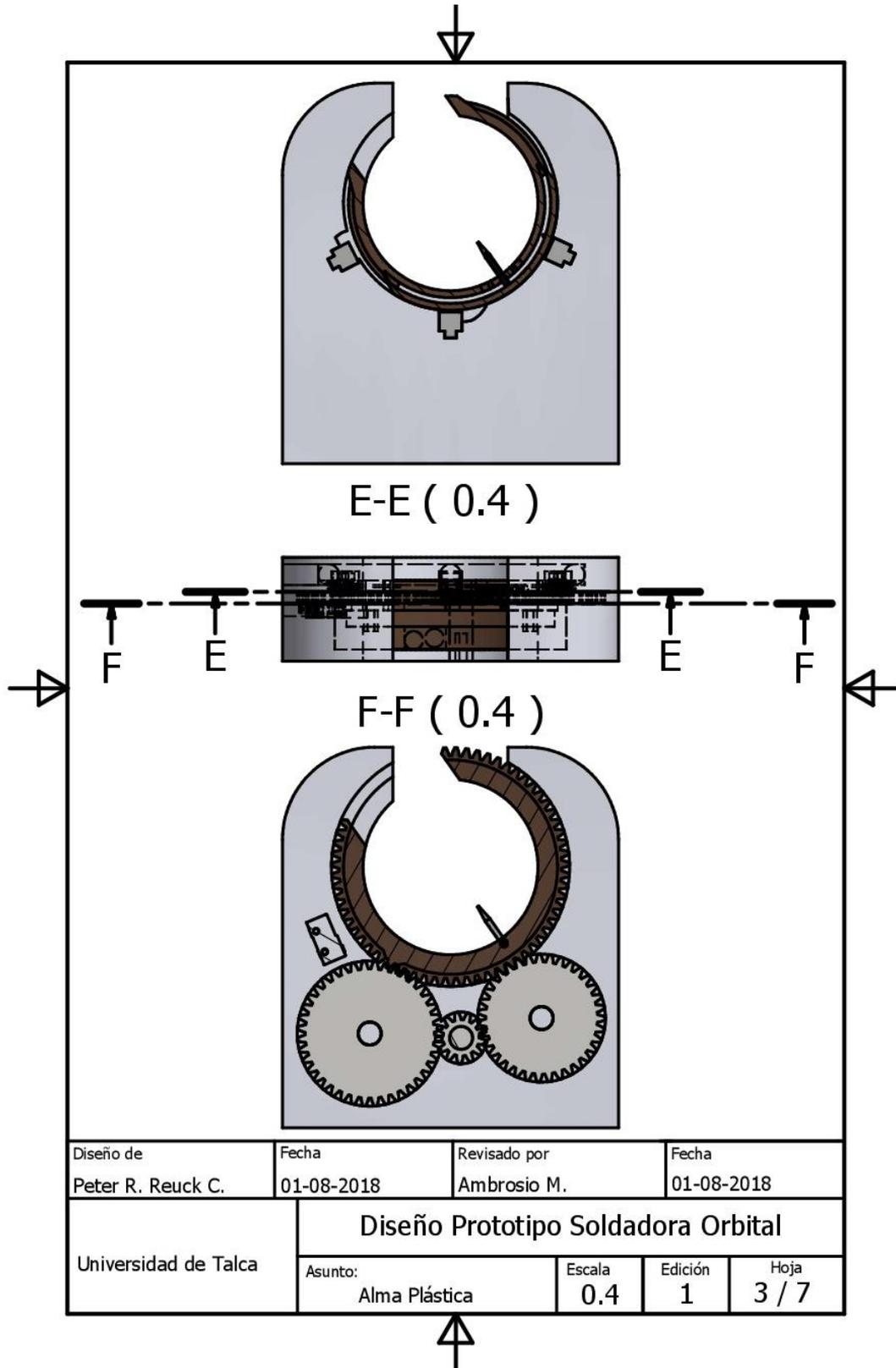


Anexo C “Planos Inventor”

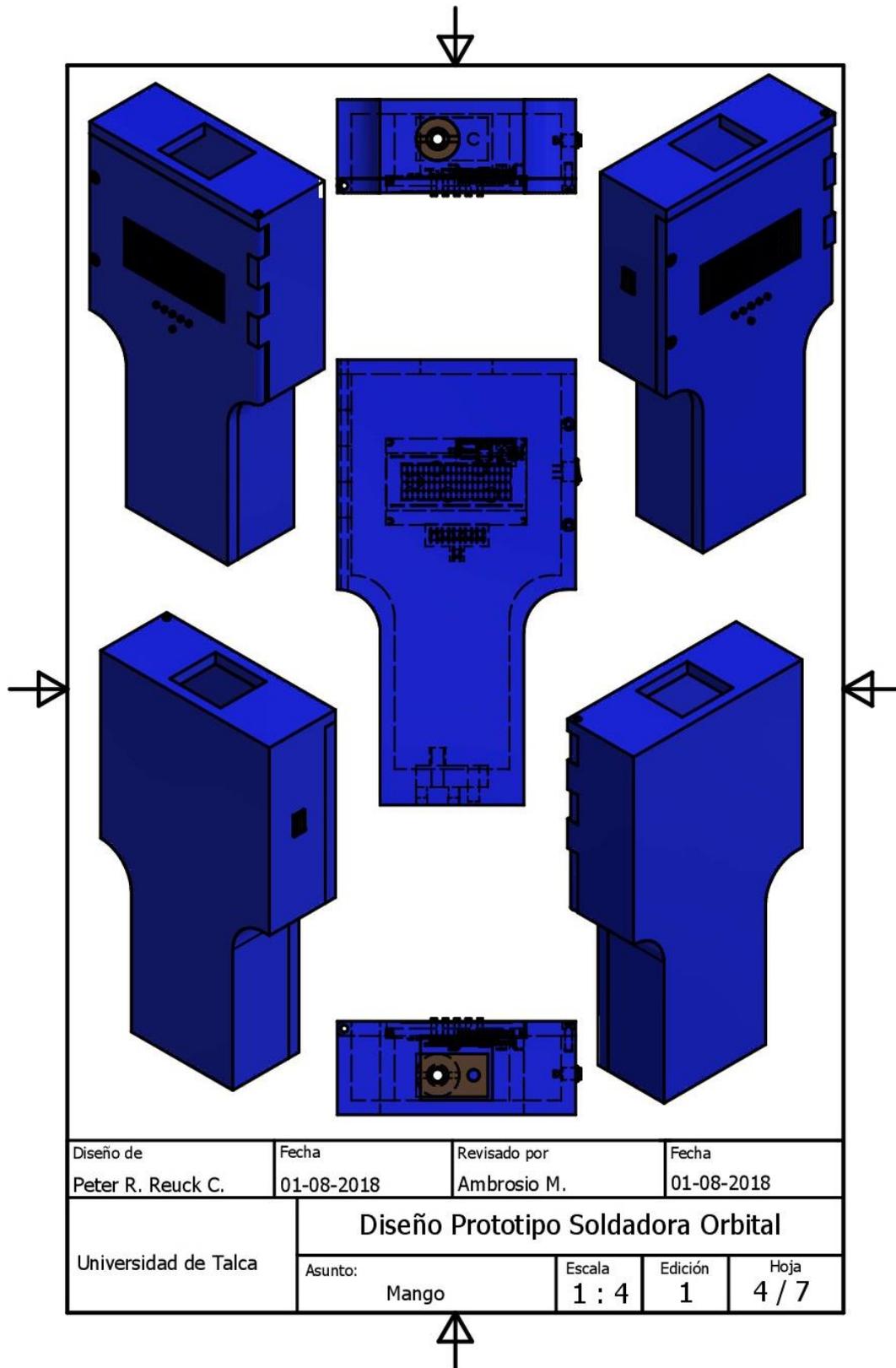
Página 1	Diseño Inventor “Sistema de Transmisión”	1C
Página 2	Diseño Inventor “Vista Principal”	2C
Página 3	Diseño Inventor “Alma Plástica”	3C
Página 4	Diseño Inventor “Mango”	4C
Página 5	Diseño Inventor “Soporte de Tubería”	5C
Página 6	Diseño Inventor “Sistema de Potencia”	6C
Página 6	Diseño Inventor “Válvula de Gas”	7C

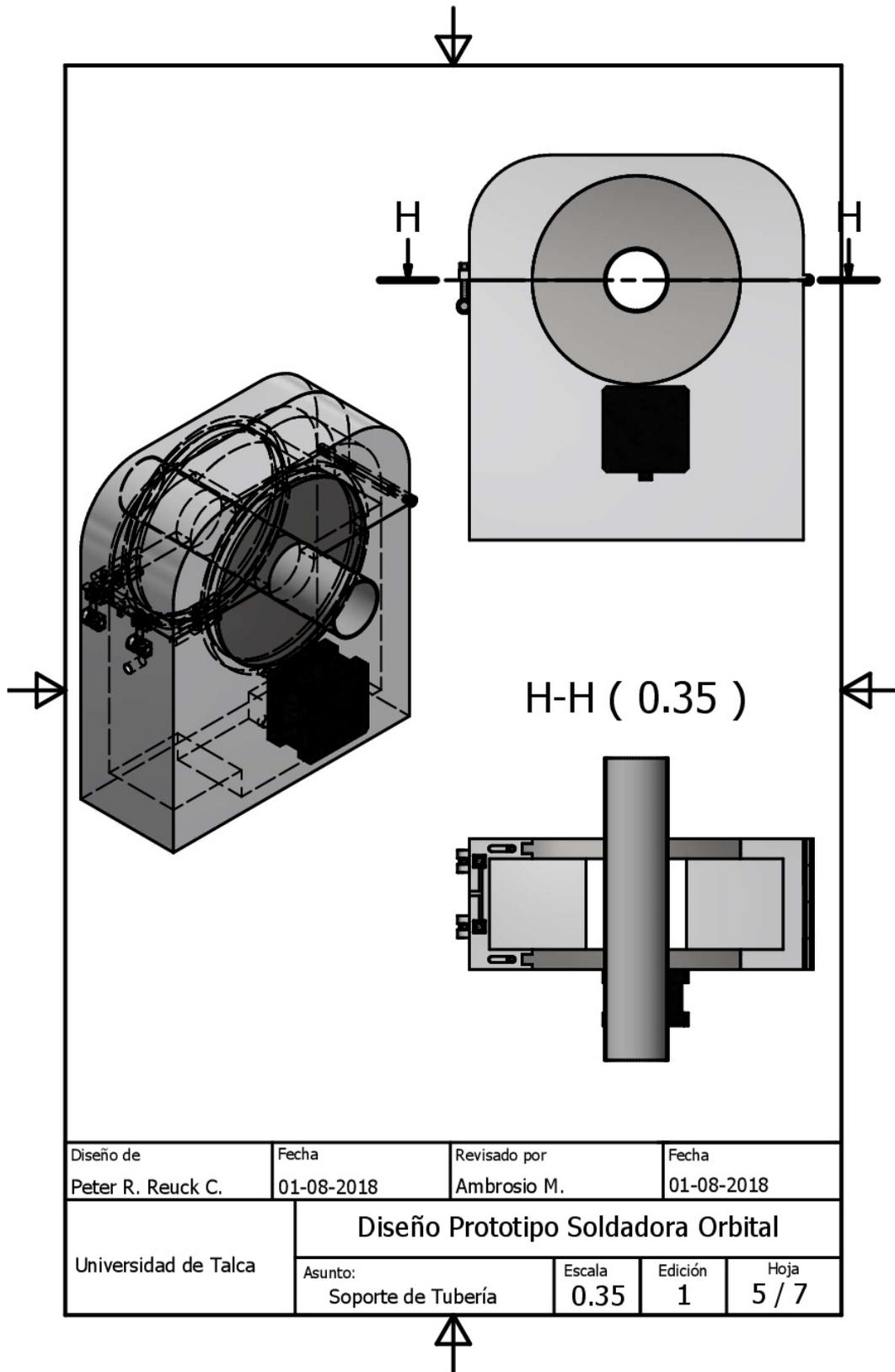




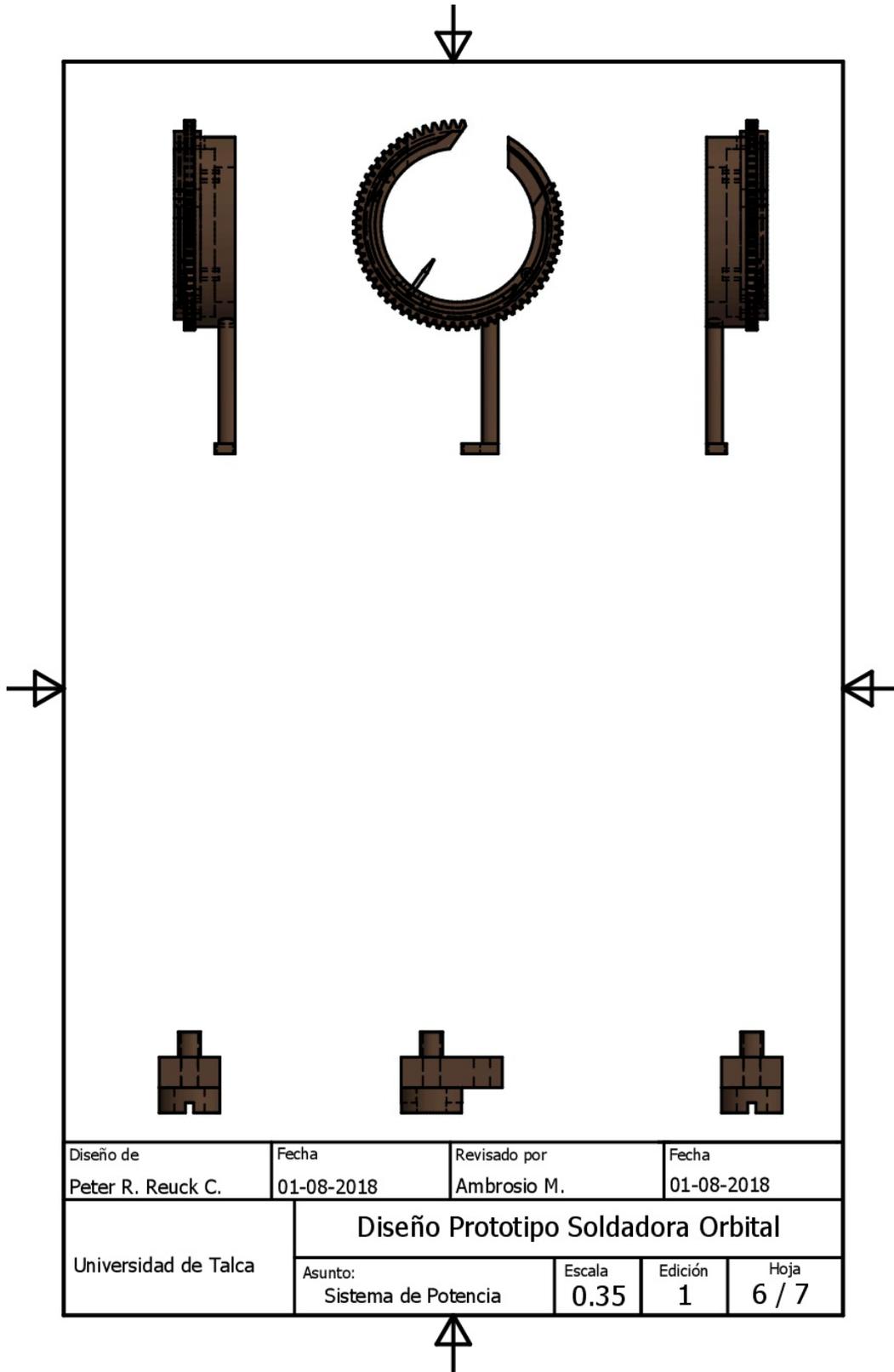


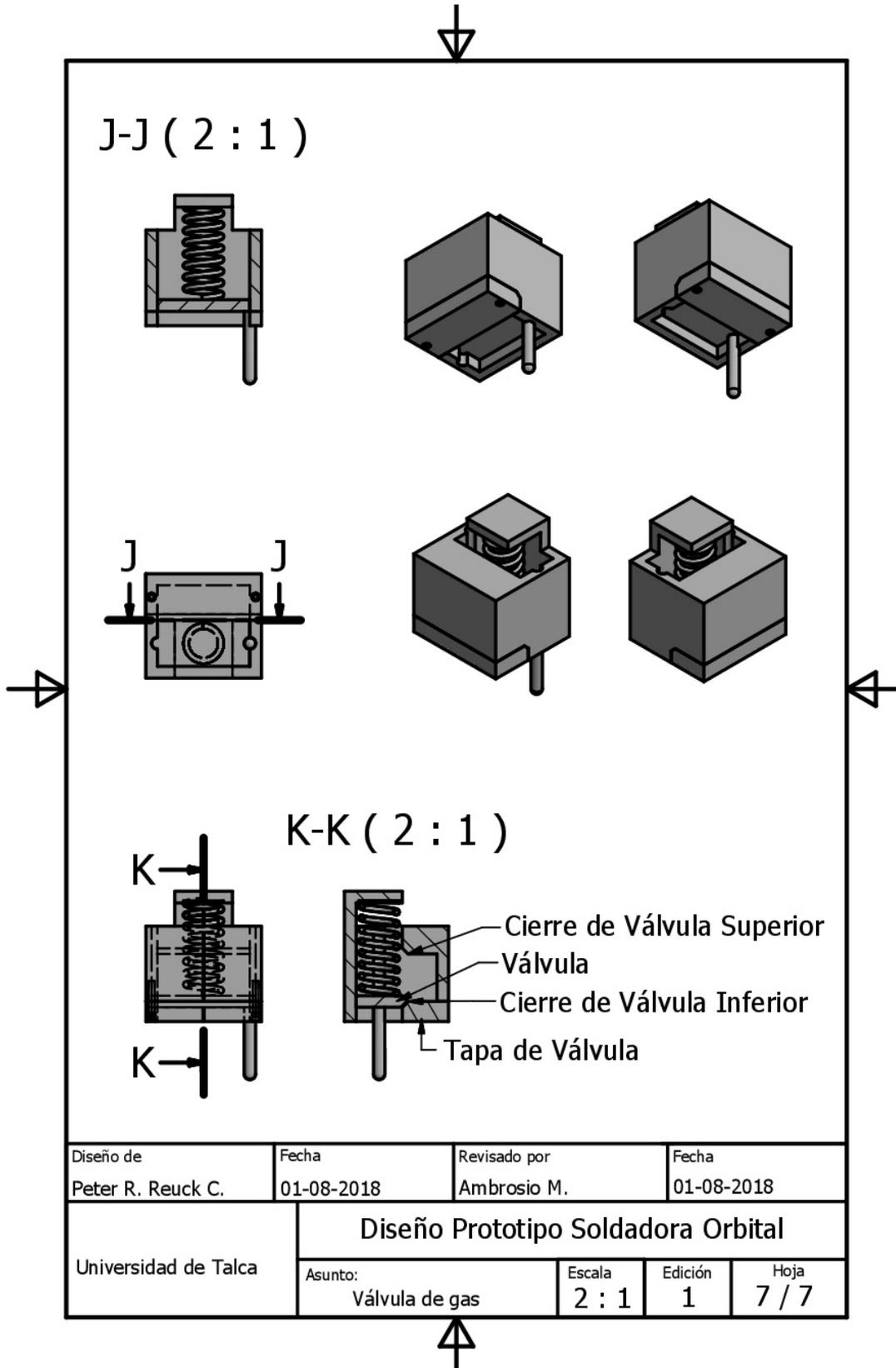
Diseño de Peter R. Reuck C.	Fecha 01-08-2018	Revisado por Ambrosio M.	Fecha 01-08-2018
Universidad de Talca	Diseño Prototipo Soldadora Orbital		
	Asunto: Alma Plástica	Escala 0.4	Edición 1
			Hoja 3 / 7





Diseño de Peter R. Reuck C.	Fecha 01-08-2018	Revisado por Ambrosio M.	Fecha 01-08-2018
Universidad de Talca	Diseño Prototipo Soldadora Orbital		
	Asunto: Soporte de Tubería	Escala 0.35	Edición 1
			Hoja 5 / 7





Anexo D “Cuadro de Criterios”

N°	Bibliografía	Diseño/Selección/Desarrollo	Criterio
1	[2], [3].	Selección tipo de corriente generada por la máquina soldadora TIG	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución del calor tanto en el electrodo como el material • Tipo de material a soldar • Penetración de la soldadura • Costos
2	[2], [3], [5], [7], [22].	Selección del electrodo <ul style="list-style-type: none"> • Material del electrodo • Diámetro • Largo • Extensión de la punta 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipos de electrodo AWS • Características del material a utilizar para la fabricación del electrodo • Rango de amperaje a utilizar • Tipo de corriente generada por la máquina TIG
3	[2].	Determinación Ángulo de soldadura	<ul style="list-style-type: none"> • Tipos de soldadura AWS • Probabilidad de penetración del aire a la piscina de soldadura
4	[2], [3], [6], [7].	Selección del gas de recubrimiento para la eliminación de gases contaminantes y humedad	<ul style="list-style-type: none"> • Especificación AWS.
5	[3].	Determinación de la Velocidad de avance del tungsteno al soldar	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor del material • Intensidad de corriente Nota: hay una relación inversa entre la velocidad de avance y el nivel de amperaje.
6	[3].	Determinación de Cantidad de corriente	<ul style="list-style-type: none"> • Rango estandarizado por el conocimiento de otros soldadores, este puede variar dependiendo de la máquina a utilizar y el ambiente en el que es llevado a cabo el proceso de soldadura.
7	[2]	Selección del cable (Gas/Potencia) a utilizar	<ul style="list-style-type: none"> • Tipos de conexiones existentes • Cables normalizados
8	[5], [6], [7], [8], [9].	Selección de la forma del engranaje	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación de la necesidad del desmontaje del dispositivo soldador
9	[2], [8], [9]	Selección del tipo de movimiento por el cual se desea soldar las tuberías	<ul style="list-style-type: none"> • Disposición de las tuberías en faena de soldadura, ya que estas pueden estar ancladas en sus extremos en lugares de difícil acceso
10	[8], [9], [10], [11], [12], [13], [14].	Diseño del sistema de inyección de gas mediante canales, válvulas y el alma plástica	<ul style="list-style-type: none"> • Aseguramiento del correcto curso del gas e inyección correcta al tungsteno • Propiedades de los plásticos de ingeniería

11	[8], [9], [10], [11], [12], [13], [14].	Diseño del sistema de sujeción o soporte exterior	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación de la necesidad del desmontaje del dispositivo soldador • Sistema de pinza • Proporcionalidad con el resto de las piezas del dispositivo
12	[8], [9], [10], [11], [12], [13], [14].	Diseño del sistema de inyección de potencia	<ul style="list-style-type: none"> • Anillo/Rodillos rozantes
14	[15], [40], [41].	Programación	<ul style="list-style-type: none"> • Los modos de funcionamiento del dispositivo soldador determinarán los componentes eléctricos y electrónicos que este debe contener, para los cuales se desarrollará la programación adecuada
15	[2], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14].	Diseño de engranajes	<ul style="list-style-type: none"> • Relación de transmisión para transmitir de la forma correcta el movimiento al engranaje soldador desde el engranaje motor • En vista y considerando la forma del engranaje soldador se determinó integrar un par de engranajes locos que aseguran el movimiento continuo del sistema • Desarrollo de cálculos para el aseguramiento de la inyección de pulsos correcta para la señal del driver • Funcionamiento del driver controlador de motor de pasos • Funcionamiento del motor de pasos
16	[2].	Diseño e implementación del tipo de conectores a utilizar	<ul style="list-style-type: none"> • Mango estándar de las antorchas TIG más comunes • Existencia de adaptador para las conexiones
17		Implementación de relé como activador del arco eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema de inicio del arco eléctrico más común (On/Off)
18		No implementación de sistema de enfriamiento por líquido	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis empírico mediante la soldadura de placas y la medición de temperaturas en estas al momento de realizar la soldadura
19	[27], [28]	Selección del motor y dispositivo de control para el mismo	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de los tipos de motor existentes que pueden ser implementados en el sistema • Datasheet