

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PISTOLA PARA SOLDADURA DE ESPÁRRAGOS**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**OSCAR DANIEL ESTÉVEZ GUERRERO**

Incognitossiox@hotmail.com

**ADRIANA VANESSA REYES CHACÓN**

adry\_vanne4184@hotmail.com

**DIRECTOR: Ing. HOMERO GALO BARRAGÁN CAMPOS**

homero.barragan@epn.edu.ec

**Quito, Junio 2012**

## DECLARACIÓN

**Nosotros, Adriana Vanessa Reyes Chacón y Oscar Daniel Estévez Guerrero, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría: que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.**

**A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.**

---

Adriana Vanessa Reyes Chacón  
Guerrero

---

Oscar Daniel Estévez

## **CERTIFICACIÓN**

**Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Adriana Vanessa Reyes Chacón y Oscar Daniel Estévez Guerrero, bajo mi supervisión.**

---

Ing. Homero Barragán  
DIRECTOR DEL PROYECTO

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a la Escuela Politécnica Nacional, por permitirnos desarrollar el presente proyecto.

Un agradecimiento especial al Ing. Homero Barragán, cuyo aporte fue fundamental en el desarrollo del presente proyecto, a su acertada dirección y generosidad al brindarnos sus conocimientos.

A todos los profesores, trabajadores y personal administrativo de la Facultad de Ingeniería Mecánica, por impartirnos sus conocimientos, brindarnos su amistad y apoyarnos en los momentos difíciles.

**Adriana Vanessa y Oscar Daniel**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme puesto ángeles de la guarda en mi camino que a lo largo de mi carrera me apoyaron y me ayudaron a tomar las mejores decisiones.

A mi madre por ser mi apoyo, por confiar en mí y darme todo esos consejos que cada día me dieron fuerza para seguir

A mi padre que en el lugar donde el este, estoy segura guía mis pasos y los de mis hermanas.

A mis hermanas, en especial la Su, que sin su apoyo hubiera sido difícil culminar esta meta.

A mis abuelitos quienes nos han cuidado desde siempre y nos han brindado su apoyo, han sido una gran bendición.

A mis tías por su consejo tan acertado en el momento más adecuado.

A mis amigos por ser excelentes personas y estar a mi lado en las buenas y en las malas.

A Lenin Mora por ser una excelente persona que me ha acompañado en el transcurso de mi carrera, por su apoyo incondicional.

A los técnicos de mi trabajo: Alfozo Iza y Kirman Santiana, por su asesoría en la realización de este proyecto.

A todas las personas que tal vez en estos momentos no recuerde pero que fueron pilares fundamentales en la ejecución de este sueño.

Gracias desde el fondo de mi corazón, que Dios siempre los bendiga.

**Adriana Vanessa**

A mis padres Juan Estévez y Elizabeth Guerrero por su apoyo constante e incondicional en todos los aspectos durante el transcurso de toda la carrera.

A mis abuelitos por ser un ejemplo a seguir y en especial a mi abuelito Adriano que sin su ayuda habría sido imposible cumplir esta meta.

A mis primos por su compañía en los momentos buenos y malos, en especial al Juan Pablo Castillo por convertirse en un hermano y en un pilar fundamental.

A mi tíos y familiares por estar a mi lado en todos momentos, en especial a mi tío Carlos Guerrero por ser una guía y un ejemplo de superación.

A mis amigos los cuales son y serán un motivo de alegría y apoyo total. Y hacer del camino de la vida una fiesta.

Muchas gracias a todos.

**Oscar Daniel**

## **DEDICATORIA**

A mi madre, Eugenia Maritza Chacón Regalado, por ser una ejemplar mujer, por su lucha constante para que cada día seamos mejores personas. Por esos inmensos sacrificios que ha hecho para que nosotras cumplamos nuestras metas.

Porque antes que ser mujer siempre ha sido madre.

A mi padre, Marcelo Reyes, porque estoy segura que su espíritu siempre nos acompañado, nos ha cuidado y nos ha bendecido.

**Adriana Vanessa**

Se lo dedico a mis padres Juan y Elizabeth por ser un ejemplo de personas valiosas y enseñarme sobre la vida de la mejor manera y hacerme la persona que Soy.

A mi hermana por ser un motivo de alegría y apoyo en todos momentos.

A todas las personas que me han brindado su apoyo incondicional.

**Oscar Daniel**

## INDICE GENERAL

<b>CAPITULO I PROCESOS DE SOLDADURA. ....</b>	<b>15</b>
1.1 SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO .....	15
1.1.1 PROCESO SMAW.....	15
1.1.2 EQUIPO DE SOLDADURA.....	16
1.1.3 VARIABLES PRINCIPALES DEL PROCESO DE SOLDADURA .....	17
1.1.4 MATERIAL DE APORTE .....	18
1.2 SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO (SAW) .....	20
1.2.1 RÉGIMEN DE SOLDADURA .....	22
1.2.2. MATERIALES DE APORTE .....	22
1.3 SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO Y GAS .....	25
1.3.1 BENEFICIOS DEL SISTEMA MIG. ....	28
1.4 SOLDADURA POR ARCO DE PLASMA .....	29
1.5 SOLDADURA OXIGAS (OXIACETILÉNICA) Y OXICORTE.....	30
1.6 SOLDADURA DE ESPARRAGOS .....	32
 <b>CAPÍTULO II SOLDADURA DE ESPARRAGOS.....</b>	 <b>34</b>
2.1 FUNDAMENTOS Y APLICACIONES .....	34
2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO .....	36
2.3. TIPOS DE SOLDADURA DE ESPARRAGOS .....	37
2.4. CONSIDERACIONES TÉRMICAS DEL PROCESO .....	47
2.5. CONSIDERACIONES FISICAS DEL PROCESO .....	48
2.6 FALLAS COMUNES EN LA SOLDADURA DE ESPARRAGOS .....	49
 <b>CAPÍTULO III DISEÑO DE LA PISTOLA .....</b>	 <b>52</b>
7.1 SELECCIÓN DE MATERIALES .....	52
3.1.1 ALTERNATIVAS DE MATERIALES PARA EL DISEÑO.....	53
3.1.1.1 Acero inoxidable martensítico .....	53
3.1.1.2 Acero inoxidable austenítico .....	54
3.1.1.3 Acero de construcción .....	55

3.1.1.4 Cobre.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.1.2 TABLA DE ELEMENTOS Y PROPIEDADES REQUERIDAS.....	57
3.2 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS.....	59
3.2.1 PORTA ESPARRAGO.....	59
3.2.2 TRIANGULO.....	60
3.3 CALCULOS .....	62
3.4 RESORTE: .....	67
3.5 CALCULO DEL SOLENOIDE:.....	74
3.6 FUNCIONAMIENTO DE CADA ELEMENTO .....	78
3.7 CIRCUITO DE CONTROL .....	80
3.8 SELECCIÓN DE ELEMETOS DEL CIRCUITO .....	81
3.9 FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO DE CONTROL.....	86
3.10 CONSTRUCCION DE LA PISTOLA DE ESPARRAGOS .....	89
<b>CAPITULO IV PRUEBAS DE SOLDADURA .....</b>	<b>90</b>
4.1 PROTOCOLO DE PRUEBAS DE SOLDADURA.....	90
4.2 ANALISIS DE RESULTADOS .....	99
<b>CAPITULO V COSTOS Y SEGURIDAD. ....</b>	<b>101</b>
5.1 COSTOS DIRECTOS .....	101
5.2 COSTOS INDIRECTOS .....	104
5.3 COSTOS TOTALES.....	105
5.4 NORMAS DE SEGURIDAD PARA EL USO DE LA PISTOLA DE SOLDAR ESPÁRRAGOS .....	106
<b>CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>108</b>
6.1 CONCLUSIONES .....	108
6.2 RECOMENDACIONES .....	109
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO A HOJAS DE PROCESOS.....</b>	<b>111</b>

**ANEXO B PLANOS .....112**

**ANEXO C FOTOGRAFIAS .....113**

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 TIPOS DE ELECTRODOS.....	19
TABLA 2.1 DIÁMETROS VS INTENSIDAD Y TIEMPO .....	49
TABLA 3.1 ESCALA.....	58
TABLA 3.2 ELEMENTOS VS PROPIEDADES.....	58
TABLA 3.3 ELEMENTOS VS MATERIALES .....	59
TABLA 3.4 TIEMPO VS ACELERACIÓN .....	68
TABLA 3.5 PERMEABILIDADES RELATIVAS .....	74
TABLA 4.1 VARIACIONES PARA ACERO AL CARBONO.....	92
TABLA 4.2 VARIACIONES PARA ACERO INOXIDABLE.....	92
TABLA 4.3 AMPERAJES Y TIEMPOS PARA ACERO AL CARBONO.....	99
TABLA 4.4 AMPERAJES Y TIEMPOS PARA ACERO INOXIDABLE .....	99
TABLA 5.1 COSTOS DE MATERIALES UTILIZADOS.....	102
TABLA 5.2 MATERIALES ELÉCTRICOS .....	102
TABLA 5.3 COSTOS DE FUNDICIÓN .....	103
TABLA 5.4 COSTOS DE MANO DE OBRA POR VIRUTAJE .....	103
TABLA 5.5 COSTOS DE MANO DE OBRA DEL CIRCUITO ELÉCTRICO.....	104
TABLA 5.6 COSTOS DIRECTOS TOTALES.....	104
TABLA 5.7 COSTOS INDIRECTOS .....	105
TABLA 5.8 COSTOS TOTALES DEL PROYECTO .....	105

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 CONFIGURACIÓN BÁSICA DEL PROCESO DE SOLDADURA CON ELECTRODO REVESTIDO. ....	16
FIGURA 1.2 EQUIPO DE SOLDADURA .....	16
FIGURA 1.3 PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO.....	21
FIGURA 1.4 SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO Y GAS .....	25
FIGURA 1.5 SOLDADURA POR ARCO DE PLASMA.....	30
FIGURA 1.6 SOLDADURA DE ESPÁRRAGO .....	33
FIGURA 2.1 REGISTRO DE VOLTAJE E INTENSIDAD DE LA SOLDADURA DE UN ESPÁRRAGO POR DESCARGA DE CONDENSADOR.....	38
FIGURA 2.2 TIPOS DE ESPÁRRAGOS PARA SOLDAR POR DESCARGA DE CONDENSADORES Y ARCO. ....	39
FIGURA 2.3 CIRCUITO DE UNA SOLDADURA MANUAL DE ESPÁRRAGOS POR DESCARGA DE CONDENSADORES .....	41
FIGURA 2.4 ETAPAS DEL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO.....	44
FIGURA 2.5 CIRCUITO SIMPLIFICADO PARA LA SOLDADURA DE ESPÁRRAGOS POR ARCO .....	45
FIGURA 2.6 ETAPAS DE LA SOLDADURA POR ARCO CON EL MÉTODO DE CASQUILLO FUSIBLE. ....	47
FIGURA 2.7 MACROGRAFÍA DE UNA SOLDADURA SATISFACTORIA.....	50
FIGURA 2.8 MACROGRAFÍA DE UNA SOLDADURA CON EXCESIVO VOLTAJE. ....	50
FIGURA 2.9 MACROGRAFÍA DE UNA SOLDADURA CON ÁNGULO DE SOLDADURA .....	51
FIGURA 2.10 MACROGRAFÍA DE UNA SOLDADURA CON POCO VOLTAJE. ....	51
FIGURA 3.1 ESQUEMA DEL SOLENOIDE .....	77
FIGURA 3.2 ESQUEMA DEL SOLENOIDE CON SUS PARTES INTERIORES .....	80
FIGURA 3.3 RELÉ SELECCIONADO .....	81
FIGURA 3.4 CONTACTOR SELECCIONADO.....	82
FIGURA 3.5 TERMINALES DE CONEXIÓN .....	83
FIGURA 3.6 DATOS DE FUNCIONAMIENTO .....	83
FIGURA 3.7 DATOS DEL TEMPORIZADOR. ....	84

FIGURA 3.8 DATOS BÁSICOS DEL SOLENOIDE WOODWARD MODELO 1502. ....	85
FIGURA 3.9 DATOS DE FUNCIONAMIENTO DEL SOLENOIDE. ....	86
FIGURA 3.10 CIRCUITO DE CONTROL. ....	86
FIGURA 3.11 DESFASE DEL TIEMPO .....	88

## RESUMEN

Debido a la facilidad de transporte, el ahorro de tiempo y materiales que presenta el proceso stud welding, se ha visto necesario incursionar en este tipo de soldadura. Hoy en día que la educación se centra en la investigación y experimentación como complemento a lo aprendido dentro de la facultad, estamos presentando el diseño y la construcción de una pistola soldadora de espárragos, con el objetivo de poner en práctica los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera.

El primer capítulo es una recopilación general de los procesos de soldadura mas utilizados en la industria.

En el capítulo dos se detalla a profundidad el proceso de soldadura de espárragos (stud welding), sus aplicaciones, funcionamiento y las consideraciones que rigen este proceso.

En el tercer capítulo está enfocado al diseño de la pistola, es decir los posibles materiales a utilizar, el diseño de cada elemento con los respectivos cálculos y el circuito con los elementos eléctricos que se utilizaran.

Dentro del cuarto capítulo se detallan las hojas de procesos y los respectivos planos de taller y plano de conjunto, los cuales serán de utilidad para la construcción de este proyecto.

El quinto capítulo comprende los resultados de las pruebas ejecutadas una vez construida la pistola con el circuito de control.

El sexto capítulo abarca un estudio de costos para el diseño y construcción de una sola pistola soldadora de espárragos. Además se cuenta con una lista detallada de recomendaciones de seguridad para el uso de la máquina.

Como séptimo y último capítulo se tiene conclusiones y recomendaciones de todo el proyecto realizado.

## PRESENTACION

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo el diseño y la construcción de una pistola soldadora de espárragos.

Desde principios del siglo XX los procesos de soldadura han venido evolucionando cada vez más, permitiendo a las industrias tener mayores alternativas para agilizar los procesos de soldadura. Este es el caso de la soldadura de espárragos el cual es un proceso muy específico en la industria de la ingeniería estructural, este tipo de soldadura tiene su aplicación debido a la creciente demanda para el empleo de los espárragos.

Tomando en cuenta este desarrollo hemos visto la necesidad de implementar este proceso a los ya existentes en el laboratorio de soldadura, dando un primer paso en lo que es el diseño y construcción de una pistola soldadora de espárragos, para que generaciones venideras implementen un plan de prácticas relacionadas con este proceso.

Este proyecto consta de un diseño y construcción de la pistola que nos permita soldar espárragos con un diámetro desde 6 mm hasta 13 mm. Además tiene la versatilidad para la variación de los parámetros de soldadura y de esta manera garantizar los tiempos óptimos de soldadura mediante un adecuado sistema que nos permita el control de las variables involucradas en este proceso.

## **CAPITULO I.**

### **PROCESOS DE SOLDADURA.**

#### **1.1 SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO <sup>1</sup>**

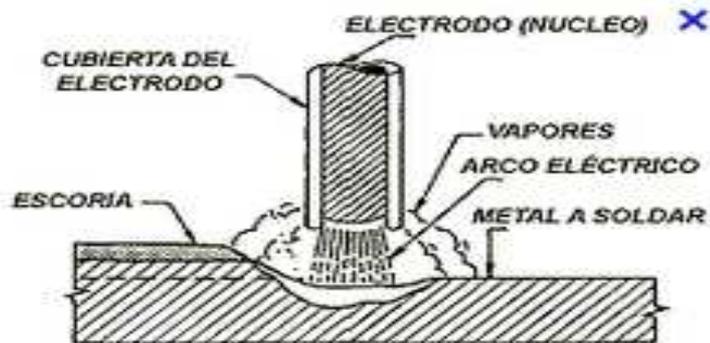
##### **1.1.1 PROCESO SMAW**

El proceso de soldadura con arco eléctrico con electrodos revestidos (Shielded Metal Arc Welding, SMAW) es un proceso en el que se produce coalescencia de metales por medio de calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta del electrodo y de la superficie del metal base que se está soldando.

La varilla del núcleo conduce la corriente eléctrica al arco y suministra metal de aporte a la unión. Las funciones principales del revestimiento del electrodo son estabilizar el arco y proteger el metal derretido de la atmósfera, por medio de los gases que crean cuando el recubrimiento se descompone por el calor del arco. La protección empleada, junto con otros ingredientes del revestimiento y la del alambre del núcleo controlan en gran medida las propiedades mecánicas, la composición química y la estructura metalúrgica del metal de soldadura, así como las características del arco del electrodo. A continuación se detalla en la figura 1.1 la configuración de este proceso.

---

<sup>1</sup> BARRAGÁN Homero,(2006), "*Principios y control de soldadura guía de prácticas*", ED. EPN, Quito, pág. 16

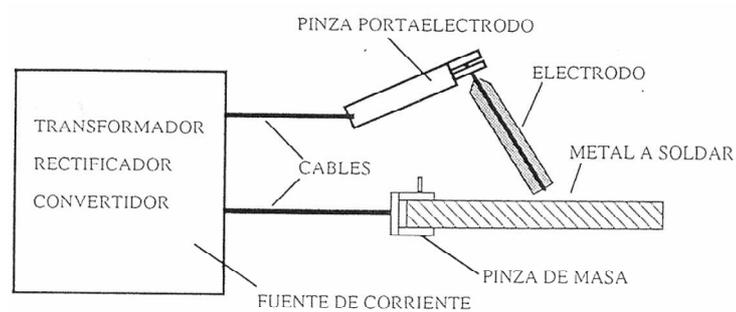


**Figura 1.1** Configuración Básica del Proceso de Soldadura con Electrodo Revestido.

### 1.1.2 EQUIPO DE SOLDADURA

Básicamente, el equipo de soldadura está compuesto por los siguientes elementos ver figura 1.2:

- Una fuente de corriente continua o alterna;
- Pinza porta-electrodo y pinza de masa;
- Cables de conexión;
- Electrodo revestidos



**Figura 1.2** Equipo de soldadura

### 1.1.3 VARIABLES PRINCIPALES DEL PROCESO DE SOLDADURA <sup>2</sup>

Las variables principales son: Corriente de Soldadura (I), Voltaje del arco (V), Velocidad de la soldadura (S); variables que determinan las características importantes del cordón depositado como son: penetración, forma geométrica y otras de naturaleza metalúrgica

La corriente de soldadura tiene relación directa con la aportación de material, la cual debe ser suficiente para obtener una buena fusión y penetración, sin perder el control del charco de soldadura. El voltaje y la longitud de arco están en relación directa, la longitud del arco aumenta al incrementarse el diámetro del electrodo y el amperaje, pero por regla general esta longitud no debe exceder el diámetro del núcleo del electrodo. La velocidad de soldadura correcta produce una franja de soldadura con el perfil y el aspecto correctos.

Sobre la forma de la sección transversal del cordón ejercen gran influencia las propiedades estabilizadoras del revestimiento, la densidad de la escoria que se forma y las propiedades de las escorias fundidas. Según datos, variando la longitud del arco y la profundidad de su penetración en el metal base se puede variar el coeficiente de forma del cordón. Esto se logra variando las propiedades estabilizadoras del revestimiento, de tal modo que un revestimiento con bajas propiedades estabilizadoras lleva a la disminución de la longitud del arco y la obtención de un cordón estrecho, con gran profundidad de penetración. Para altas propiedades estabilizadoras de las escorias fundidas hay un alargamiento del arco y en consecuencia la obtención de un alto coeficiente de forma del cordón.

La influencia de la tensión del arco sobre la forma geométrica de la costura depende de forma proporcional de la longitud del arco y además de la composición de los gases que están en la zona del arco. El incremento de la tensión del arco hace que

---

<sup>2</sup> BARRAGÁN Homero,(2006), "*Principios y control de soldadura guía de prácticas*", ED. EPN, Quito, pág. 16

aumente la movilidad del mismo, como resultado de esto crece considerablemente el ancho de la costura, permaneciendo casi

constante la profundidad de fusión dentro de los límites normales que tienen lugar en la práctica. Al incrementar el espesor del metal a soldar, aumenta la intensidad de la corriente y esto debe ir acompañado del aumento de la tensión del arco.

#### **1.1.4 MATERIAL DE APORTE <sup>3</sup>**

Electrodo consumible; son varillas que contienen el metal de aporte en la soldadura. Las varillas para soldadura normalmente tienen una longitud de 225 a 450 mm y un diámetro de 6.4 mm ó menos, este diámetro depende del espesor del material a soldar, posición de mejor funcionamiento y tipo de junta a unir.

Los revestimientos de los electrodos son mezclas muy complejas de materiales que actúan durante el proceso de fusión del electrodo para cumplir las funciones como:

- Estabilización del arco.
- Formación de escorias.
- Gas de protección.
- Versatilidad en el proceso.
- Concentración del arco.
- Mejorar las características mecánicas.
- Reducir la velocidad de enfriamiento.

---

<sup>3</sup>RODRÍGUEZ, Hermenegildo, <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn45.html>

Para la soldadura de los aceros, los electrodos se clasifican atendiendo al tipo de revestimiento que incorporan. Así se tiene la siguiente clasificación típica:

Tipo de electrodo	Ventajas	Inconvenientes	Aplicaciones
<b>Básico (bajo hidrógeno)</b>	Optima limpieza del material, aporte de hidrogeno reducido, escoria de fácil remoción.	Profundidad de penetración baja, mantenimiento difícil, DC+	Apropiado para soldar espesores gruesos, construcciones rígidas.
<b>Rutílico</b>	Arco estable, escoria de fácil remoción, fácil conservación, DC+ o DC-	Elevado aporte de hidrógeno, escaso efecto de limpieza.	Se usan para soldar espesores delgados, para relleno.
<b>Celulósico</b>	Buena penetración, fácil manejo del con el arco corto, pero un poco más difícil que los rutilicos, escoria reducida.	Escoria de difícil remoción, DC+, elevado aporte de hidrógeno.	Se usa para soldar juntas difíciles de alinear, estructuras rígidas y tuberías

**Tabla1.1** Tipos de electrodos.

Según la American Welding Society (AWS), la clasificación e identificación de los electrodos se realiza de la siguiente manera:

Para soldadura de aceros al carbono, se emplea la especificación AWS A 5.1., que trabaja con la siguiente designación para electrodos revestidos:

E XXYY 1 HZR

Donde:

E: Indica electrodo para soldadura por arco, el cual por definición conduce la corriente por arco;

XX: Dos dígitos que designan la mínima resistencia a la tracción del metal depositado, en Ksi.

YY: Dos dígitos que designan las posiciones de soldadura en que puede trabajar el electrodo, el tipo de revestimiento y el tipo de corriente adecuado para el electrodo. El primer dígito indica la posición (1=todas, 2=plana y horizontal, 3= plana, 4= vertical descendente), la combinación de los dos dígitos indica las otras características.

Los designadores después del guión son opcionales:

1: Designa que el electrodo (E 7016, E 7018 ó E 7024) cumple con los requisitos de impacto mejorados E y de ductilidad mejorada en el caso E 7024; HZ: Indica que el electrodo cumple con los requisitos de la prueba de hidrógeno difusible para niveles de "Z" de 4.8 ó 16 ml de H<sub>2</sub> por 100gr de metal depositado (solo para electrodos de bajo hidrógeno);

R: Indica que el electrodo cumple los requisitos de la prueba de absorción de humedad a 80°F y 80% de humedad relativa (solo para electrodos de bajo hidrógeno).

## **1.2 SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO (SAW)<sup>4</sup>**

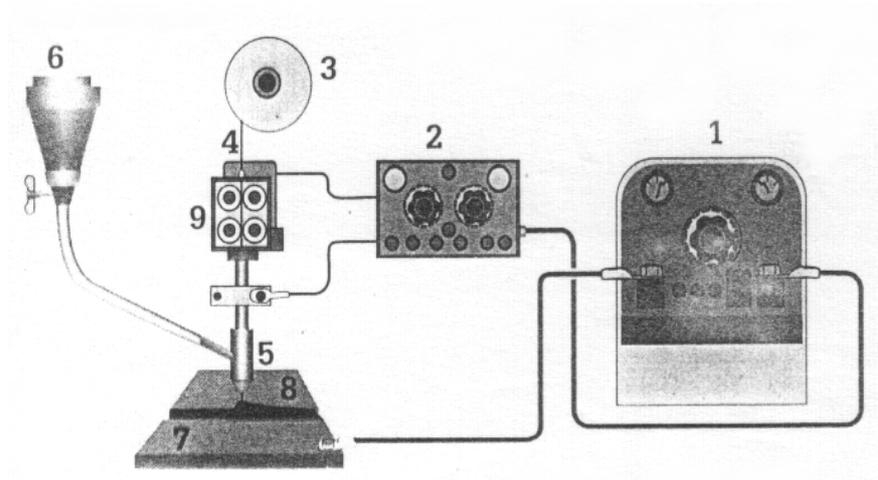
La soldadura eléctrica por arco sumergido (SAW) es un proceso mediante el cual la unión permanente de las piezas metálicas se logra por el calor generado por un arco voltaico producido entre el metal base y un alambre electrodo sólido, la zona de soldadura está protegida por un material fundente granulado (FLUX) que se acumula sobre el arco y el cordón formado y rodea completamente el extremo del electrodo.

Este proceso de soldadura por sus características operativas estaba limitado a la posición plana, pero actualmente se cuenta con dispositivos y accesorios que permitan en otras posiciones.

---

<sup>4</sup> BARRAGÁN Homero,(2006), "*Tecnología de soldadura*", ED. EPN, Quito, pág. 90

El fundente al llegar al estado líquido no produce humo ni chispas; como no se puede ver no es necesaria mayor protección para los ojos sino únicamente gafas de seguridad.



**Figura 1.3** Proceso de soldadura por arco sumergido.

- 1- Fuente de poder de CC o CA (100% ciclo de trabajo).
- 2- Sistema de control.
- 3- Porta-carrete de alambre.
- 4- Alambre-electrodo.
- 5- Tobera para boquilla.
- 6- Recipiente porta-fundente.
- 7- Metal base.
- 8- Fundente.
- 9- Alimentador de alambre

Este es uno de los procesos de mayor eficiencia en cuanto a absorción de energía entregada (85% aproximadamente). En los procesos de soldadura eléctrica por arco, la energía entregada ( $E_e$ ) es en su mayor parte consumida por el arco; de esta energía la porción transformada en calor es muy grande comparada con otras formas de disipación de energía.

### 1.2.1 RÉGIMEN DE SOLDADURA <sup>5</sup>

Variables preseleccionadas:

- a) Diámetro del alambre electrodo
- b) Composición química del alambre electrodo
- c) Tipo y caudal del material de aporte

Variables primarias:

Las más importantes que intervienen en este proceso son:

- a) Intensidad de corriente en el circuito de soldadura.
- b) Tipo de corriente y polaridad.
- c) Voltaje o tensión en el arco de soldadura.
- d) Velocidad de soldadura o de Avance

Variables Secundarias:

- a) Altura de la capa del fundente.
- b) Longitud libre del alambre electrodo (stick-out)
- c) Angulo formado entre la torcha y la pieza a soldar

### 1.2.2. MATERIALES DE APORTE <sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> BARRAGÁN Homero,(2006), "*Tecnología de soldadura*", ED. EPN, Quito, pág. 91

<sup>6</sup> BARRAGÁN Homero,(2006), "*Tecnología de soldadura*", ED. EPN, Quito, pág. 94

Los materiales de aporte utilizados en este proceso son:

- a) Alambre electrodo continuo y sólido
- b) Fundente Granulado

#### **1.2.2.1 Alambre Electrodo.**

Los alambres electrodos se clasifican de acuerdo a su composición química. Según la AWS A 5.17-89 se ha designado a los electrodos de la siguiente manera:

EX-XX-Y

Donde

E= electrodo, en el siguiente espacio se usa:

X= L,M,H = Indica el contenido de manganeso. L = Bajo, M=medio, H = alto

XX= Los siguientes dos dígitos indican el porcentaje promedio del contenido de carbono (/100) si al final se usa la letra:

K = indica que el acero ha sido calmado. En general este indica la forma de fabricación del acero y ciertamente su calidad.

#### **1.2.2.2 Fundente Granulado.**

Se clasifican de acuerdo a las propiedades mecánicas del depósito de soldadura hecho con un electrodo particular.

Según la AWS (AWS A 5.17) el fundente se especifica de la siguiente manera:

## F-X-Y-Z

Donde:

F = FLUX (fundente)

X = indica la resistencia a la tracción del material depositado por (10000 psi)

Y = si es A, significa que la calificación del alambre electrodo, la probeta va en condiciones "AS WELDED" para el ensayo de impacto. Si es P, quiere decir que la probeta fue sometida a un tratamiento térmico "POST WELDED " para el mismo ensayo de impacto Charpy.

Z = indica la energía absorbida por la probeta en el ensayo de impacto, así como la temperatura del ensayo (datos tabulados en catálogos)

Para lograr una buena soldadura en este proceso por arco sumergido, se debe establecer la mejor combinación entre "Electrodo - Fundente".

El fundente utilizado en la soldadura por arco sumergido tiene las siguientes propiedades:

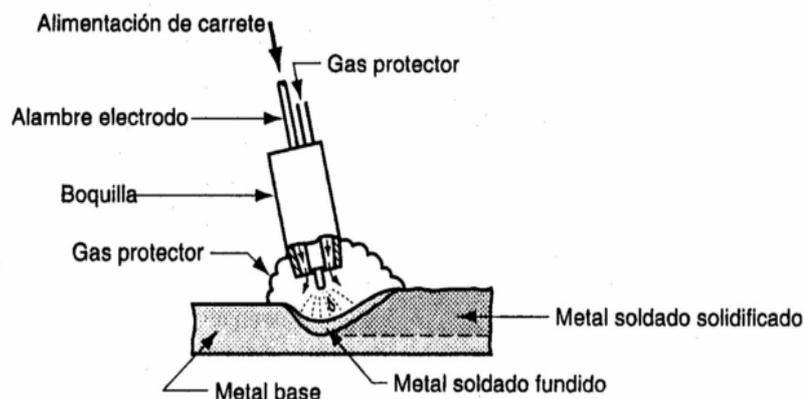
1. Ayuda a purificar el metal depositado al proveer desoxidantes.
2. Ayuda a reducir las cantidades de azufre y fósforo que podrían estar presentes en el metal base.
3. Impide que el hidrógeno se introduzca en la soldadura
4. Es manipulado por su condición de granulado.
5. No produce gases tóxicos.

Forma una bóveda (cápsula) hermética, lo que garantiza un lento enfriamiento y por lo tanto las reacciones químicas son completas.

### 1.3 SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO Y GAS <sup>7</sup>

La soldadura metálica con arco eléctrico y gas. Soldadura GMAW ( Gas Metal Arc Welding, GMAW) es un proceso en el cual el electrodo es un alambre metálico desnudo consumible y la protección se proporciona inundando el arco eléctrico con un gas. El alambre desnudo se alimenta en forma continua y automática desde una bobina a través de la pistola de soldadura, como se ilustra en la figura 1.4.

En GMAW se usan diámetros de alambre que van desde 0.8 a 6.4 mm, el tamaño depende del grosor de las partes que se van a unir y la velocidad de aportación deseada.



**Figura 1.4** Soldadura por arco eléctrico y gas

Para protección se usan gases inertes como el argón y el helio (proceso MIG) y también gases activos como el dióxido de carbono (proceso MAG). La elección de los gases (y sus mezclas) dependen del material que se va a soldar, al igual que de otros factores.

El proceso MIG se usa para soldar aleaciones de aluminio y aceros inoxidable, en tanto que el proceso MAG normalmente se usa para soldar aceros al bajo y mediano

<sup>7</sup> BARRAGÁN Homero, (2006), "Tecnología de soldadura", ED. EPN, Quito, pág. 62

carbono. La combinación del alambre de electrodo desnudo y los gases protectores eliminan el recubrimiento de escoria en la gota de soldadura y, por tanto, evitan la necesidad del esmerilado y limpieza manual de la escoria.

Los diferentes metales en los que se usa la soldadura GMAW y las propias variaciones del proceso han dado origen a diferentes nombres. La primera vez que se introdujo el proceso a fines de los años cuarenta, se aplicó a la soldadura de aluminio usando un gas inerte (argón) para protección del arco eléctrico. Este proceso recibió el nombre de soldadura metálica con gas inerte (en inglés MIG welding, metal inert gas welding). Cuando este proceso de soldadura se aplicó al acero, se encontró que los gases inertes eran costosos y se usó  $\text{CO}_2$  como sustituto. Por tanto, se aplicó el término de soldadura con  $\text{CO}_2$ . Algunos refinamientos en el proceso para la soldadura del acero condujeron, al uso de mezclas de gases, incluyendo dióxido de carbono y argón, e incluso oxígeno y argón.

El proceso MIG opera en DC (corriente continua) usualmente con el alambre como electrodo positivo. Esto es conocido como "Polaridad Inversa" (reverse polarity). La "Polaridad Directa" (straight polarity) es raramente usada por su poca transferencia de metal de aporte desde el alambre hacia la pieza de trabajo. Las corrientes de soldadura varían desde unos 50 Amperios hasta 600 Amperios en muchos casos en voltajes de 15V hasta 32V, un arco auto-estabilizado es obtenido con el uso de un sistema de fuente de poder de potencial constante (voltaje constante) y una alimentación constante del alambre.

Continuos desarrollos al proceso de soldadura MIG lo han convertido en un proceso aplicable a todos los metales comercialmente importantes como el acero, aluminio, acero inoxidable, cobre y algunos otros. Materiales por encima de 0.76 mm de espesor pueden ser soldados en cualquier posición, plana, horizontal vertical y sobre cabeza.

Es muy simple escoger el equipo, el alambre o electrodo, el gas de la aplicación y las condiciones óptimas para producir soldaduras de alta calidad a muy bajo costo.

El proceso básico MAG incluye tres técnicas muy distintas: Transferencia por “Corto circuito”, Transferencia “Globular” y la transferencia de “Arco Rociado” (Spray Arc). Estas técnicas describen la manera en la cual el metal es transferido desde el alambre hasta la soldadura fundida.

En la transferencia por corto circuito, la transferencia del metal ocurre cuando un corto circuito eléctrico es establecido, esto ocurre cuando el metal en la punta del alambre hace contacto con la soldadura fundida.

En la transferencia por rociado (spray arc) diminutas gotas de metal fundido llamadas "Moltens" son arrancadas de la punta del alambre y proyectadas por la fuerza electromagnética hacia la soldadura fundida.

En la transferencia globular el proceso ocurre cuando las gotas del metal fundido son lo suficientemente grandes para caer por la influencia de la fuerza de gravedad. Los factores que determinan la manera en que los moltens son transferidos son la corriente de soldadura, el diámetro del alambre, la distancia del arco (voltaje), las características de la fuente de poder y el gas utilizado en el proceso.

La soldadura MIG es un proceso versátil, con el cual se puede depositar soldadura a un rango muy alto y en cualquier posición. El proceso es ampliamente usado en laminas de acero de bajo y mediano calibre de fabricación y sobre estructuras de aleación de aluminio particularmente donde existe un alto requerimiento de trabajo manual o trabajo de soldador.

Desde su aparición en el mundo de la soldadura, todas las agencias de regulación y clasificación de los metales de aporte tomaron muy en serio este proceso y la creación de su propio código de clasificación fue indispensable, en el caso de la Sociedad Americana de Soldadura AWS, se crearon dos códigos por separado, uno para las aleaciones de bajo contenido de Carbón o también conocido como acero dulce y uno para las aleaciones de alto contenido de Carbón donde la composición química final del material aportado fuera cambiada de forma dramática.

Clasificación AWS A5.18 para los metales de aporte: Electrodo de baja aleación de acero para soldadura de arco protegida por gas

ER – XX – S – N

1. Las primeras dos letras identifican como alambre o varilla desnuda.
2. Los dos o tres primeros números indican la resistencia a la tracción en miles de libra/pulg<sup>2</sup>
3. La letra intermedia indica que el tipo de alambre es sólido.
4. Los últimos tres dígitos indican la Composición química del alambre.

Lo que determina la ejecución correcta de este proceso es:

- La fluidez de la soldadura fundida.
- La forma del cordón de la soldadura y sus bordes.
- La chispa o salpicaduras que genera (Spatter)

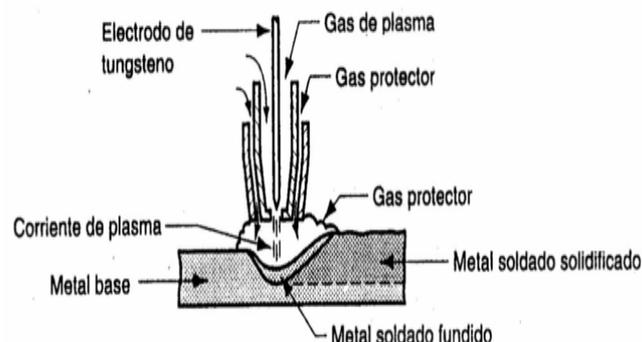
### **1.3.1 BENEFICIOS DEL SISTEMA MAG.**

1. No genera escoria.
2. Alta velocidad de aportación.
3. Alta eficiencia de aportación.
4. Fácil de usar.
5. Mínima salpicadura.
6. Aplicable a grandes espesores.
7. Baja generación de humos.

8. Es económica.
9. La pistola y los cables de soldadura son ligeros haciendo más fácil su manipulación.
10. Es uno de los más versátiles entre todos los sistemas de soldadura.
11. Alto rendimiento.
12. Posibilidad de automatización

#### 1.4 SOLDADURA POR ARCO DE PLASMA <sup>8</sup>

La soldadura por arco de plasma, (en inglés plasma arc welding, PAW), es una forma especial de la soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas en la cual se dirige un arco de plasma controlado al área de soldadura. En la PAW, se coloca un electrodo de tungsteno dentro de una boquilla especialmente diseñada, la cual concentra una corriente de gas inerte a alta velocidad (por ejemplo, argón o mezclas de argón e hidrógeno) dentro de la región del arco eléctrico, para formar una corriente de arco de plasma intensamente caliente a alta velocidad, como en las figura 1.5. También se usan el argón, el argón-hidrógeno y el helio como gases protectores del arco eléctrico.



<sup>8</sup> GARCÍA, Pedro,  
<http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/5466/1/GUIACOMPARATIVA.pdf>

### **Figura 1.5 Soldadura por arco de plasma**

Las temperaturas en la soldadura de plasma de arco eléctrico son de 2800 °C o mayores, y lo suficientemente altas para fundir cualquier metal conocido. La razón de estas altas temperaturas en PAW (mucho mayores que las de TIG) derivan de la estrechez del arco eléctrico. Aunque los niveles de energía normales usados en la soldadura de plasma de arco son menores que los usados en la soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas, la energía se concentra mucho para producir un chorro de plasma de un diámetro pequeño y una densidad de energía muy alta.

La soldadura de plasma de arco se introdujo alrededor de 1960, pero tardó en popularizarse. En años recientes se usa cada vez más como sustituto de la TIG en aplicaciones tales como sub ensambles de automóviles, gabinetes metálicos, marcos para puertas y ventanas y aparatos para el hogar. Debido a las características especiales de la PAW, sus ventajas en estas aplicaciones incluyen una buena estabilidad de arco eléctrico, un control de penetración mejor que en la mayoría de los otros procesos de soldadura con arco eléctrico, altas velocidades de soldadura y una excelente calidad de soldadura. El proceso se usa para soldar casi cualquier metal, incluyendo el tungsteno. Sin embargo, hay metales difíciles de soldar con la PAW, entre estos se incluyen el bronce, el hierro colado, el plomo y el magnesio. Otras limitaciones son el equipo costoso y un tamaño de soplete más grande que para las otras operaciones de soldadura con arco eléctrico, lo cual tiende a limitar el acceso en algunas configuraciones de unión.

## **1.5 SOLDADURA OXIGAS (OXIACETILÉNICA) Y OXICORTE.<sup>9</sup>**

La soldadura oxigas es un grupo de soldadura que produce la unión permanente de metales, mediante el calor proporcionado por una llama a partir de un gas combustible en presencia de oxígeno y puede o no usar presión y material de aporte.

---

<sup>9</sup> BARRAGÁN, Homero,(2006), "*Tecnología de soldadura*", ED. EPN, Quito, pág. 104

Los procesos de soldadura incluidos en este grupo, generalmente se utilizan en el soldeo de láminas delgadas; por ejemplo en la industria automotriz y para la soldadura de tubería delgada, es decir donde se requiera poca penetración y gran control de la pileta fundida, así como una alta ductilidad.

Los procesos que pertenecen a la soldadura de oxi-gas se clasifican de acuerdo al gas combustible que utiliza:

- a) Soldadura oxiacetilénica (OAW)
- b) Soldadura oxhídrica (utiliza H<sub>2</sub>)
- c) Soldadura por presión con gas.

De este proceso el más difundido en el Ecuador es la soldadura oxiacetilénica.

Este proceso utiliza una llama que es el producto de la combustión de un gas de combustible (acetileno) y un gas comburente (oxígeno).

### **1.5.1 GAS ACETILENO**

Es el resultado de la combinación química entre dos átomos de carbono y dos átomos de hidrógeno (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>). El acetileno se obtiene de la reacción de agua H<sub>2</sub>O sobre el carburo de calcio CaC<sub>2</sub>.

### **1.5.2 GAS OXIGENO**

Es un gas diatómico (O<sub>2</sub>) que hace posible la combustión casi completa del acetileno, lo que permite obtener una llama de características apropiadas para la soldadura y el corte. El oxígeno para la soldadura debe tener una gran pureza (mínimo 99.5%).

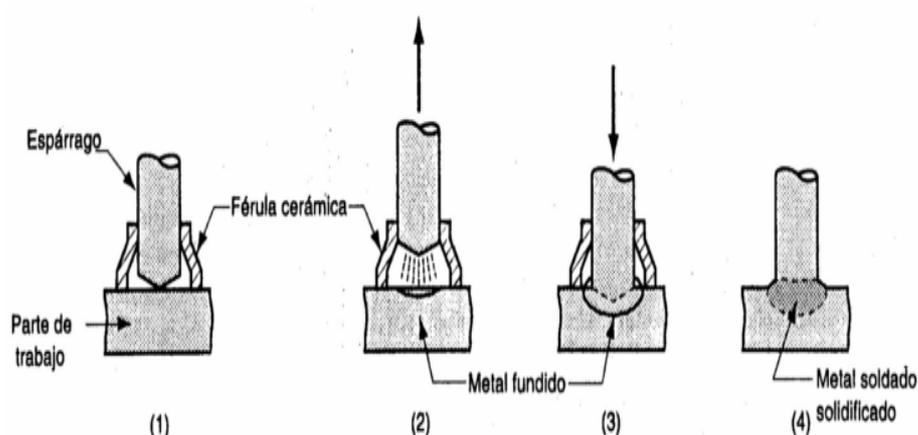
### **1.5.3 LLAMA OXIACETILÉNICA**

La llama oxiacetilénica alcanza en el extremo del cono una temperatura aproximada a 3200°C (5792°F).

## 1.6 SOLDADURA DE ESPARRAGOS <sup>10</sup>

En inglés stud welding, SW, es un proceso especializado de soldadura con arco eléctrico para unir pernos o componentes similares a partes básicas. Las aplicaciones incluyen sujetadores roscados para fijar manijas en utensilios de cocina, aletas de radiación de calor en maquinaria y situaciones de ensamble similares. En operaciones de alta producción, la soldadura de espárragos generalmente tiene ventajas sobre los remaches, las uniones soldadas con arco eléctrico en forma manual y las aberturas taladradas y enroscadas.

La figura 1.6 ilustra una operación normal SW, en la cual se obtiene protección por medio del uso de una férula de cerámica. Para empezar el espárrago se sujeta en una pistola de soldadura especial que controla automáticamente los parámetros de tiempo y potencia de los pasos mostrados en la secuencia. El trabajador sólo debe colocar la pistola en la posición correcta en contra de la parte de trabajo base, a la cual se unirá el espárrago, y jalar del gatillo.



<sup>10</sup>GARCÍA, Pedro,  
[Http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/5466/1/GUIACOMPARATIVA.pdf](http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/5466/1/GUIACOMPARATIVA.pdf)

**Figura 1.6 Soldadura de espárrago**

(1) Se coloca el espárrago o perno; (2) Fluye la corriente desde la pistola y se jala el espárrago desde la base para establecer un arco eléctrico y crear un pozo fundido; (3) Se hunde el espárrago en el pozo fundido; (4) Se remueve la férula cerámica tras la solidificación.

## **CAPÍTULO II**

### **SOLDADURA DE ESPARRAGOS**

#### **2.1 FUNDAMENTOS Y APLICACIONES**

##### **2.1.1 FUNDAMENTOS**

La soldadura de espárragos tiene una creciente aplicación dentro de la industria especialmente en la construcción de puentes, edificios, en la industria automotriz, y mamparos de barcos entre otros, debido a que con este proceso la soldadura se realiza con mayor facilidad, rapidez, mejorando el aspecto de la soldadura y economizando material.

Así, las operaciones de barrenado y roscado, han sido remplazadas por la soldadura con todas sus ventajas económicas.

Este proceso especial viene desarrollándose desde hace muchos años atrás y es ampliamente utilizado por su fácil adaptación y movilización

Para realizar una soldadura de espárragos por arco se induce una diferencia de potencial entre el esparrago que hace de electrodo y la pieza a soldar, con lo cual se ioniza el aire entre ellos y pasa a ser conductor, de modo que se cierra el circuito y crea el arco eléctrico. El calor del arco funde parcialmente el material base y funde la punta del esparrago

Se han desarrollado diferentes variantes del proceso que si bien obtiene resultados parecidos, utilizan distintos materiales y difieren en el principio de funcionamiento

## **2.1.2 APLICACIONES <sup>11</sup>**

Las aplicaciones de este proceso son infinitas por lo que se va hacer un resumen, dentro de los campos destacables de la industria:

### **2.1.2.1 Construcciones metálicas**

Coberturas de chapas, linternones, ventanas, rejillas, rieles de grúas de puentes, mobiliario metálico, etc.

### **2.1.2.2 Construcciones eléctricas**

Fijación de cableado de armarios, conductos eléctricos, transformadores, curvas disyuntoras, dispositivos de alumbramientos, equipos eléctricos, bornes de condensadores, etc.

### **2.1.2.3 Construcción naval**

Forros de cubierta, tuberías, canalizaciones eléctricas, tapas de agujeros de hombre, mobiliarios, etc.

### **2.1.2.4 Construcciones mecánicas**

Bancadas de motores, compresores, ventiladores, etc.

### **2.1.2.5 Construcciones de automóviles**

Adornos, parachoques, largueros, piezas de la carrocería, extintores, accesorios, etc.

### **2.1.2.5 Calderería**

---

<sup>11</sup> SEFERIAN, D, (1985), "*Las soldaduras*", ED. URMO, Bilbao, pág. 453

Cuerpos de tubos para calderas, recipientes a presión, tapas, bridas, discos, recipientes, entubados, extractores, ventiladores, etc

## 2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Este procedimiento consiste en fijar por soldadura sobre una superficie metálica un “espárrago”, es decir, una pieza metálica de forma alargada, en general de sección circular, cuyo diámetro puede variar de 3 a 25mm, y realizar mediante estos espárragos, las uniones más heterogéneas.

El proceso de la soldadura de espárragos con pistola comprende las siguientes fases:

- Creación de un arco eléctrico entre el espárrago y la superficie metálica (la cual puede ser mediante la acción de un solenoide, un sistema mecánico o hidráulico).
- Mantener este arco durante un tiempo hasta el periodo de fusión.
- Preparación de la punta en el extremo del espárrago.
- Protección del metal en periodo de solidificación mediante un anillo cerámico.<sup>12</sup>

Así pues, el principio de funcionamiento de la soldadura con pistola, se asemeja al procedimiento por arco, puesto que la fusión del extremo del espárrago se obtiene mediante un arco cuya tensión de funcionamiento varía entre 25 y 30 V y por la intervención de una férula que ayuda a la concentración del calor en la soldadura y evita que el calor se disipe hacia los elementos de la pistola.

El equipo y los productos que intervienen en la soldadura de espárragos con pistola son:

---

<sup>12</sup> SEFERIAN, D, (1985), “*Las soldaduras*”, ED. URMO, Bilbao, pág. 453

- a) La pistola, que tiene por misión crear el arco, poniendo en contacto el espárrago con la superficie metálica, separándolo rápidamente y manteniendo seguidamente este arco.
- b) La caja de control, mantiene cerrado el circuito de soldadura durante todo el período de existencia del arco. Se compone de un temporizador que, mediante unos relés, transmiten sus órdenes a un contactor.
- c) El puesto de soldadura, en general un generador de corriente continua y, a veces, un sistema estático provisto de un sistema estabilizador de arco.
- d) El espárrago, pieza metálica de forma alargada, de sección variable, cilíndrica, lisa o fileteada, de cualquier longitud, teniendo un acabado en el extremo.
- e) Férula cerámica, tiene por misión :
  - mantener el calor del arco (economía de un 30% a un 40 %)
  - moldear un reborde de metal fundido en la base del espárrago.
  - proteger el metal fundido contra la acción directa del aire
  - evacuar los gases que se desprenden del metal en fusión y los productos de la reacción.
  - proteger los ojos del operario contra la acción del arco.

## **2.3. TIPOS DE SOLDADURA DE ESPARRAGOS<sup>13</sup>**

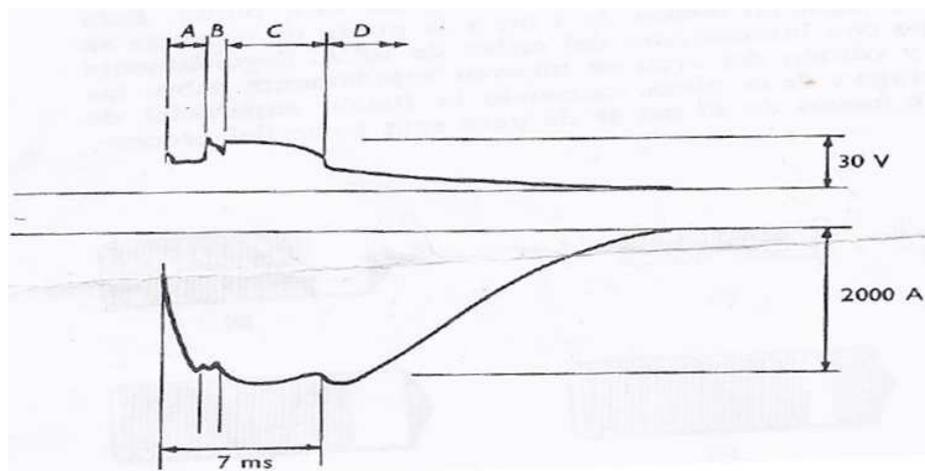
### **2.3.1 SOLDADURA DE ESPÁRRAGOS POR PERCUSIÓN O DESCARGA DE CONDENSADORES.**

El proceso implica generalmente la soldadura de un espárrago de hasta 6 mm de diámetro a planchas de metal relativamente delgadas. La iniciación del arco se produce por la vaporización de una pequeña punta cilíndrica que sobresale del centro del espárrago. La seguridad de la puesta en marcha exige regularidad en la

---

<sup>13</sup> HOULDCROFT, P, (1990), "*Tecnología de los procesos de soldadura*"; ED. CEAC, España, pág. 153

forma y condición de esta punta. Esta parte del proceso tiene lugar en menos de 1 ms y la punta de potencia se alcanza en este tiempo con intensidades del orden de  $10^3$  A. Seguidamente las bases del ánodo y cátodo del arco se mueven rápidamente sobre la superficie del espárrago y de la pieza, causando la fusión superficial de ambas. Un periodo de menos de 10 ms se da para esta parte del proceso, durante cuyo tiempo la intensidad cae a medida que se descargan los condensadores y la separación se cierra al moverse hacia adelante el espárrago bajo la fuerza de percusión. Cuando se establece el contacto de las regiones fundidas, el metal combinado y fundido se extiende entre las caras de la unión. En la figura 2.1 que a continuación se muestran se puede observar: las ondas básicas de la onda de voltaje e intensidad para consecuencia descrita.



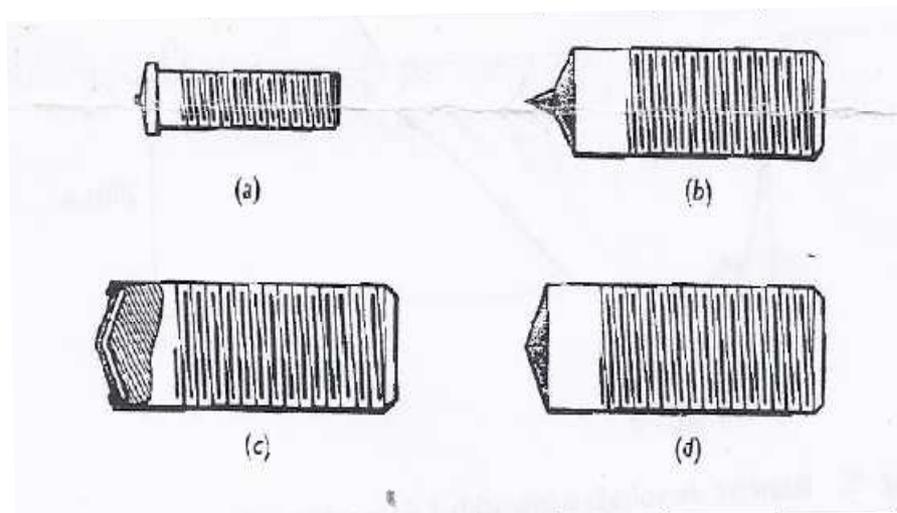
**Figura 2.1** Registro de voltaje e intensidad de la soldadura de un espárrago por descarga de condensador.

A, calentamiento de la punta; B, fusión de la punta; C, periodo de funcionamiento del arco; D, soldadura terminada descenso de la carga del condensador.

La capa del metal soldado entre el espárrago y la plancha contienen a menudo pequeños vacíos, posiblemente debidos a la extensión incompleta del arco sobre las caras de la unión. Sin embargo, puesto que el espárrago tiene siempre un diámetro

grande en comparación con el espesor de la plancha, la resistencia de la unión es adecuada y las roturas en los ensayos se presentan siempre en la plancha. Como en las soldaduras de alambres por chispas, es corriente el uso de espárragos y planchas de distintos materiales y aunque algunas de las combinaciones pueden ser inaceptables en forma masiva, el diseño de la unión y el calentamiento limitado se traduce en uniones satisfactorias. La profundidad de penetración en las piezas es de 0,1 a 0,25 mm y el espesor del metal soldado entre el espárrago y la plancha aproximadamente es el mismo.

En la figura 2.2 se observa los tipos de espárragos utilizados para la soldadura de espárragos por condensadores



**Figura 2.2** Tipos de espárragos para soldar por descarga de condensadores y arco: a) pequeña punta cilíndrica para descarga de condensadores; b) espárrago de aleación de aluminio con doble cono recubierto por pulverización de fundente, c) espárragos de acero con un sombrero relleno de desoxidantes granulados; d) espárrago de acero de un solo cono metalizado con aluminio.

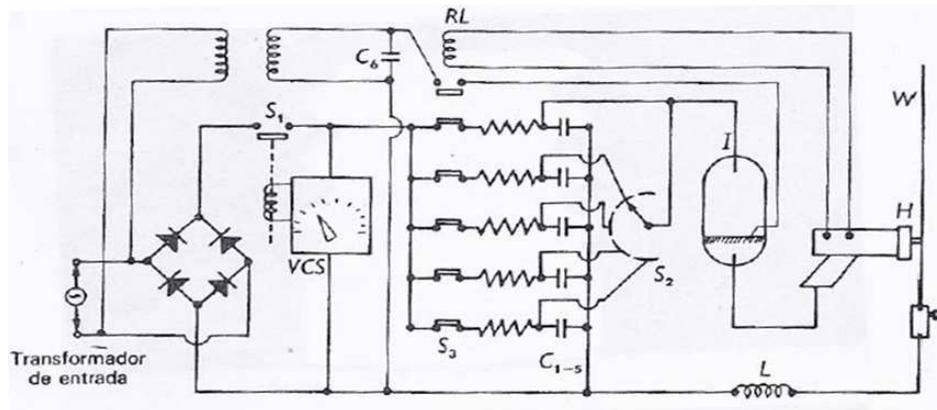
### 2.3.1.1 Técnicas y equipo

Se utiliza dos métodos de iniciar el proceso conocidos como de contacto inicial o de separación inicial, según la punta del espárrago este en contacto con la pieza o separada de ella.

En el primer método el espárrago, que se sostiene a un pistón cargado con un muelle, tiene la punta presionada contra la pieza, cerrando el interruptor de control, los condensadores se conectan al pistón, la punta del espárrago se vaporiza y comienza el proceso.

En el método de separación inicial el espárrago se mantiene separado aproximadamente 1,6 mm de la pieza, presionado contra el muelle por un solenoide que rodea el pistón; para hacer la soldadura, los condensadores se conectan, el solenoide se desenergiza el espárrago se mueve hacia adelante, iniciándose la descarga cuando la punta hace contacto con la pieza. Este último método se usa cuando se han de unir elementos de sujeción a aluminio delgado, o cuando debe producir un mínimo de calentamiento en la cara opuesta de la plancha, por ejemplo: cuando se sueldan chapas pintadas o anodizadas por la cara opuesta. El proceso es efectivamente más rápido puesto que el espárrago ya está en movimiento cuando comienza la descarga. Debe tenerse cuidado en el diseño y mantenimiento de la herramienta de soldar para asegurar un movimiento del pistón suave, rápido y regular; es ventajosa la ausencia de superficies deslizantes que se logra montando el pistón sobre diafragmas.

A continuación se muestra un circuito para uso con la herramienta descrita.



**Figura 2.3** Circuito de una soldadura manual de espárragos por descarga de condensadores  $C_{1-5}$  condensadores principales;  $C_6$ , condensador de paro; VCS unidad de voltaje y sondeo;  $S_1$  interruptor de control de voltaje;  $S_2$  interruptor de selección de condensadores (control de intensidad);  $S_3$  relé múltiple; RL relé de disparo; I ignitron; L inductancia; H herramienta manual; W pieza

Una característica importante de este circuito es el uso de un ignitrón en lugar de un interruptor electromagnético. Los ignitrones son rápidos de funcionamiento y no tienen la desventaja del golpeteo de los contactores propio de los interruptores electromagnéticos. El accionamiento del interruptor en la herramienta de mano abre los contactos múltiples  $S_3$  desconectando los circuitos de carga y descarga del condensador  $C_6$  el enciende el ignitron para cerrar el circuito de potencia, la constante de tiempo del circuito que controla la velocidad a la cual se descargan los condensadores puede estar influida por las variaciones de inductancia de los conductores de soldadura, para reducir este efecto la inductancia de los conductores se hace pequeña en relación con la total, intercalando una inductancia L en el equipo.

La unidad de control y sondeo de voltaje de la figura 2.3, está ajustada siempre para mantener un voltaje menor que el disponible de los rectificadores y desconecta la unidad de condensadores.

Puesto que el voltaje sube exponencialmente, esto se logra más rápidamente que con el circuito sencillo. Si el voltaje de los condensadores disminuye por fugas como resultado de un retraso en la ejecución de la soldadura, la unidad volverá a conectar el suministro de carga.

Aunque se ha descrito únicamente el equipo portátil manejado manualmente, también se usan cabezales de soldar de tipo máquina con herramientas apropiadas. Estos equipos emplean el principio de separación inicial y aire comprimido para la aplicación de la fuerza de percusión. Aun cuando el periodo de funcionamiento del arco es corto, puede producirse soplo de arco y para reducir al mínimo esta perturbación se usan frecuentemente un par de conductores de retorno a tierra.

Aplicaciones. La soldadura por percusión se utiliza para soldar espárragos, elementos de fijación y otras pequeñas piezas a productos domésticos, eléctricos y arquitectónicos. Las piezas a trabajar pueden ser planchas metálicas, frecuentemente recubiertas, pintadas y pulidas por la cara opuesta, o piezas fundidas en coquilla o sinterizadas. Pueden usarse muchas combinaciones de metales distintos, incluso espárragos de arco al carbono a piezas a base de zinc fundidas en coquilla. En general la protección es innecesaria pero para el aluminio, que forma óxidos refractarios, se han obtenido mejores resultados con protección por argón.

### **2.3.2. SOLDADURA DE ESPÁRRAGOS POR PERCUSIÓN CON FUERZA MAGNÉTICA.**

Un proceso de percusión ampliamente utilizado para la soldadura de contactos eléctricos a tiras de respaldo, tiene características comunes con la soldadura por resistencia. La punta de ionización que se conforma en el respaldo, es un saliente similar a los diseños para usarse en la soldadura por protuberancia. La corriente no es suministrada por condensadores si no por un transformador con un voltaje en circuito abierto de 10 a 20 V, el cual es superior al normal para la soldadura por resistencia. La intensidad es suficientemente alta para vaporizar el saliente, de

manera que no se produce el proceso normal de aplastamiento y se forman unos arcos de corta duración, como en la soldadura por chispas, con expulsión violenta de metal. Se aplica una fuerza de percusión por el movimiento de una armadura en el circuito secundario del transformador, el cual responde también a la corriente de soldadura. Esta fuerza cierra la separación entre las piezas en trabajo con violencia explosiva atrapando la mayor parte de la salpicadura del saliente. Las aplicaciones de este proceso son similares a las de soldadura por percusión, especialmente la soldadura de metales distintos. Sin embargo carece de la posibilidad de transporte, por tenerse que hacer en la operación en una máquina de soldar de tipo prensa.

### **2.3.3. SOLDADURA DE ESPÁRRAGOS POR ARCO.**

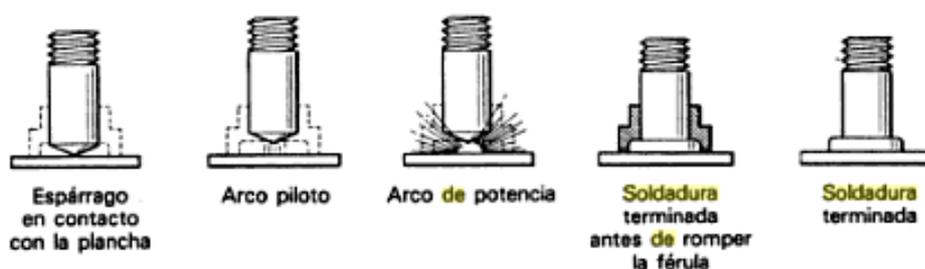
Frecuentemente es necesario unir los extremos de varillas o barras a superficies metálicas, tales como las de planchas y perfiles. Un método de hacer este tipo de uniones es arrastrar un arco entre las varillas y las superficies, después llevar las áreas fundidas a entrar en contacto. Este tipo de unión reemplaza al taladro y roscado de espárragos en una superficie y el proceso es conocido como soldadura de espárragos. La soldadura de espárragos por arco inventada por H. Martin y usada desde 1918 por Royal Navy no fue extensamente conocida hasta que fue redescubierta por E. Nelsonen USA, 20 años después. Casi otros 20 años más tarde W. P. Van Den Blink y otros inventaron el proceso de soldadura de espárragos en el cual el arco se enciende por un collarín fusible y no por separación del esparrago en contacto previo con la pieza como en el método anterior. En la actualidad los tres métodos se emplean paralelamente. Aparte de las diferencias en la forma de iniciar el arco, las tres variantes de la soldadura de espárragos difieren en el mecanismo mediante el cual el esparrago se retorna a la pieza. En comparación con el proceso de soldadura de espárragos por percusión el método por arco utiliza tiempos de arco entre 150 y 500 ms, 25 veces mayores, mientras que el movimiento del esparrago es mayor. Los tiempos de arco mayores y la operación menos crítica permiten que la

soldadura de espárragos por arco se utilice hasta con espárragos de 25 mm de diámetro.

### 2.3.3.1. Método de arrastre por arco

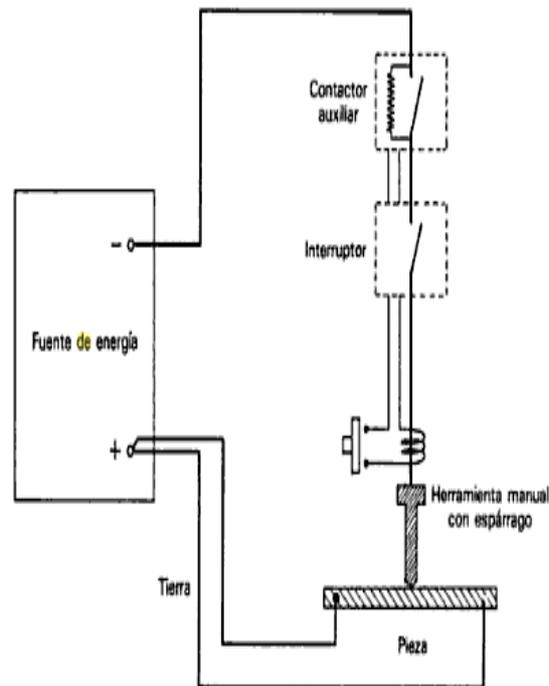
#### 2.3.3.1.1. *Proceso de inducción en caliente*

Básicamente es el método original inventado por Martin. El espárrago se mantiene inicialmente en contacto con la pieza mediante un muelle. Para soldar el espárrago, se energiza un solenoide que lo separa de la pieza a una distancia previamente ajustada, contra la acción del muelle. Con una intensidad piloto de 15 A se enciende un arco y cuando el espárrago se ha separado a una distancia aproximada de 1,6 mm se conecta la corriente de soldadura para formar el arco de potencia. La corriente de soldadura es suministrada por una maquina de C.C. de característica descendente, corrientemente un transformador/rectificador. Cuando la corriente ha pasado durante un tiempo previamente ajustado (suficientemente largo para fundir el extremo del espárrago y un cráter en la pieza) el solenoide se desenergiza y el muelle retorna el espárrago a la pieza. Esto se hace mientras la corriente esta aun pasando, de aquí el nombre de método de inducción en caliente. Esta secuencia se muestra en la figura 2.4



**Figura 2.4** Etapas del proceso de soldadura por arco

En la figura 2.5 se muestra el circuito que se utiliza para la soldadura de espárragos de arrastre por arco, es el circuito simplificado el cual contiene una fuente de energía, un contactor, un interruptor, el esparrago y la placa de trabajo.



**Figura 2.5** Circuito simplificado para la soldadura de espárragos por arco

La disminución en la resistencia del circuito cuando el espárrago encuentra a la pieza, produce un aumento en la intensidad hasta un 100% que pasa hasta que se corta el interruptor principal de potencia. Una onda de corriente de tal magnitud puede producir el sobrecalentamiento y limitar la vida del contactor, por lo que debe disponerse de un contactor auxiliar, para conectar una resistencia al final del ciclo a fin de limitar la elevación de intensidad.

El hecho de que la corriente pase aun después de que se ha hecho la soldadura es importante cuando se sueldan metales de alta conductividad térmica, tales como el aluminio.

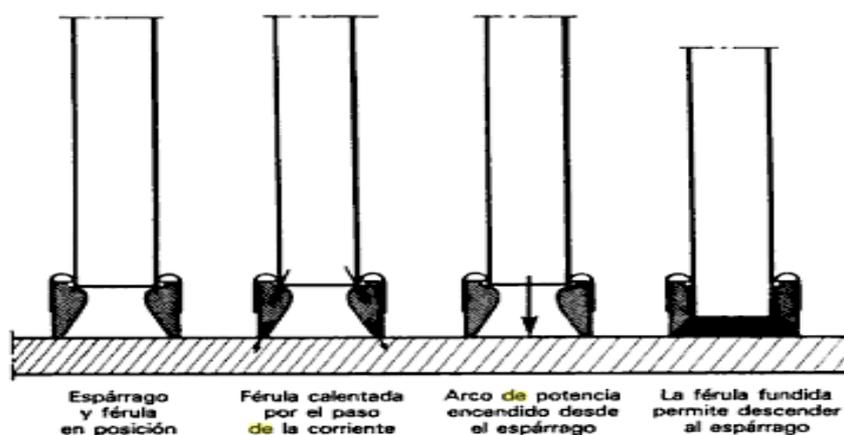
#### *2.3.3.1.2. Proceso de inducción en frío*

Inventado por Nelson. Otra vez el espárrago se mantiene en contacto con la pieza mediante un muelle y se separa por un solenoide. Este solenoide está en el circuito principal de potencia, de forma que inmediatamente se conecta la corriente de soldadura, se separa el espárrago arrastrando un arco de plena potencia. Cuando el contactor de soldadura se abre, después del tiempo preestablecido, el arco se apaga, el solenoide se desenergiza y el espárrago se introduce en el cráter. Aunque este sencillo sistema es satisfactorio para el acero, el tiempo durante el cual el espárrago retorna a la pieza en el que no se genera calor, es suficiente para hacer inadecuado el proceso para aleaciones de aluminio. También el profundo cráter inicial formado por el arco de plena potencia hace difícil utilizar el método para metales delgados; pero para una amplia gama de trabajos sobre el acero al carbono se considera ventajoso la sencillez del sistema.

#### **2.3.3.2. Método de la virola fusible**

Una virola como la que se muestra en la figura 2.6, tiene una composición similar a la de los recubrimientos de los electrodos de contacto para arco metálico, con un sombrerete de cartón se coloca en el extremo del espárrago. El espárrago y la virola (también llamada férula cerámica) se sostienen después contra la pieza mediante una herramienta manual de muelle. Al cerrar el circuito a través de un contactor la virola conduce suficiente corriente para calentarse y proporcionar inicialmente un paso ionizado para el arco entre el espárrago y la pieza. Una parte de la virola se funde formando una escoria protectora sobre el baño y finalmente después de que el arco ha funcionado durante un tiempo que depende de las dimensiones de la virola, el acoplamiento de esta deja paso a la acción del resorte que permite al espárrago introducirse en un baño de metal fundido. El metal desplazado forma un cordón alrededor del espárrago bajo la cubierta de escoria. Puesto que la virola tiene la función de iniciar el arco y de temporizar la operación, el equipo para este proceso es

extremadamente simple. En virtud de la estabilización del arco por la virola este proceso, a diferencia de los métodos de arco arrastrado, puede utilizarse con una fuente de C.A. Se utilizan maquinas normales de características descendentes con voltajes en circuito abierto de 70 a 100 V y aunque es preferible C.A., por ser más barata, el proceso funciona satisfactoriamente con C.C. con el espárrago en positivo.



**Figura 2.6** Etapas de la soldadura por arco con el método de casquillo fusible. Izquierda: preparado para soldar, derecha: apoyo con el casquillo hundido permitiendo al espárrago sumergirse en el baño de soldadura. El casquillo está encerrado en un sombrerete de cartón.

## 2.4. CONSIDERACIONES TÉRMICAS DEL PROCESO

1. En el proceso de soldadura de espárragos, se emplea altas intensidades y bajos voltajes obteniendo altas temperaturas en la zona del arco eléctrico, lo que permite que tanto el espárrago como el material base lleguen a fundirse.
2. Existen un aumento en la temperatura del cable, el cual depende en gran medida de cuatro factores principales:
  - La frecuencia relativamente elevada a la que se hacen las soldaduras.
  - El tiempo que lleva cada soldadura, el cual es predeterminado y fijado en un valor óptimo.

- La resistencia del cable del circuito la cual puede solucionarse por medio de un aumento en la sección del mismo.
  - Corriente de soldadura.
3. Es importante el uso de una férula cerámica, la cual ayuda a concentrar el calor en la zona de soldadura, restringe la entrada de aire hacia la zona de calor, mejorando el acabo de la soldadura y reguarda los elementos más cercanos de la temperatura del arco eléctrico.

## **2.5. CONSIDERACIONES FISICAS DEL PROCESO**

1. El proceso de la soldadura de espárragos con pistola comprende las siguientes fases:
  - Creación de un arco de eléctrico entre el esparrago y la superficie metálica, manteniéndose hasta el periodo de fusión.
  - Protección del metal en periodo de solidificación mediante un anillo cerámico.
2. Se debe considerar que los aceros al carbono con contenido de hasta 0,30% de carbono, son perfectamente soldables; por encima de esta concentración es recomendable realizar el precalentamiento de las piezas, y en algunos casos, someter a tratamiento térmico la soldadura.
3. El movimiento del espárrago se da mediante la creación de un campo magnético el mismo que retorna al charco de metal por acción de un resorte.
4. La pieza metálica debe estar limpia en el lugar donde vaya a realizarse la soldadura; los indicios de aceite, calamina, etc., dificultan la operación de soldadura.
5. La soldadura con pistola puede realizarse con corriente continua o alterna, pero hasta el momento, se ha preferido el empleo de la primera, por presentar

mejoras en la forma final de la parte no fundida del espárrago, al grado de porosidad producida en el extremo del espárrago y en el pozo de soldadura; de igual manera optimiza la clase y cantidad de metal transferido desde el extremo del espárrago al pozo de soldadura, en tal caso, la polaridad negativa debe aplicarse al espárrago.

6. Las cualidades mecánicas de un espárrago soldado con pistola son mayores que las de un espárrago roscado, pues a la acción de la soldadura se añade un efecto de forja (empuje del espárrago), que mejora la resistencia a la fatiga y a los choques.
7. Es importante destacar que la intensidad, el tiempo y la distancia del arco, son variables trascendentales en el proceso de soldadura de espárragos, pues de ellas dependen una unión con propiedades de soldadura aceptables. Así pues si escogemos la intensidad apropiada para un diámetro determinado, se obtendrá una buena penetración con una zona poco afectada por el calor.

A continuación se da una tabla que agrupa las características de soldadura más apropiadas para un espárrago en acero dulce de forma cilíndrica en función del diámetro.

Diámetro de espárrago [mm]	3	6	8	12	14	16	18	20	22
Intensidad [A]	200	300	350	400	550	650	800	1200	1800
Duración del arco [s]	0,20	0,3	0,5	0,5	0,6	0,8	1	1,5	2

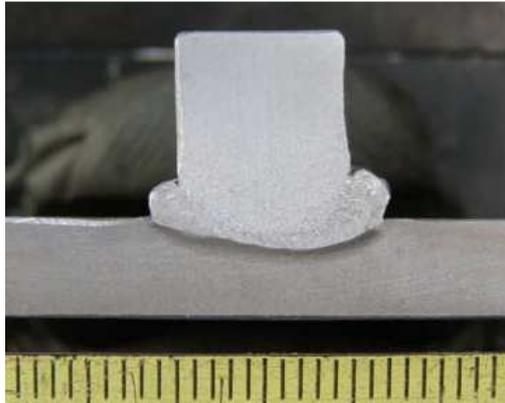
**Tabla 2.1** Diámetros, intensidad y tiempo

## 2.6 FALLAS COMUNES EN LA SOLDADURA DE ESPARRAGOS<sup>14</sup>

<sup>14</sup> SAMARDŽIĆ, Ivan, [http://bib.irb.hr/datoteka/305105.TMT07019\\_Samardzic\\_Klaric\\_Dundjer.pdf](http://bib.irb.hr/datoteka/305105.TMT07019_Samardzic_Klaric_Dundjer.pdf)

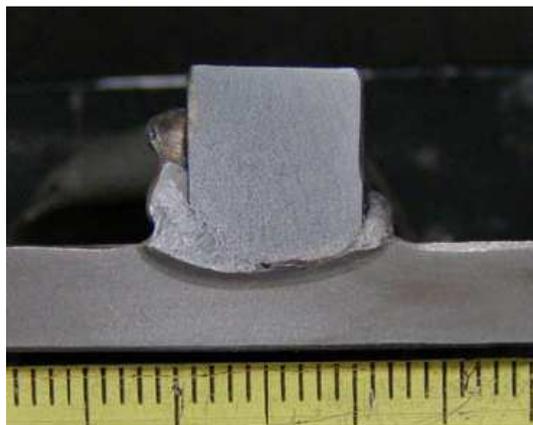
El proceso de soldadura de espárragos no está absuelto de errores, por lo que es necesario analizar los casos en los cuales la soldadura no es satisfactoria.

En la figura 2.7 se tiene la macrografía de una soldadura satisfactoria, la cual tiene la penetración adecuada, sin porosidades.



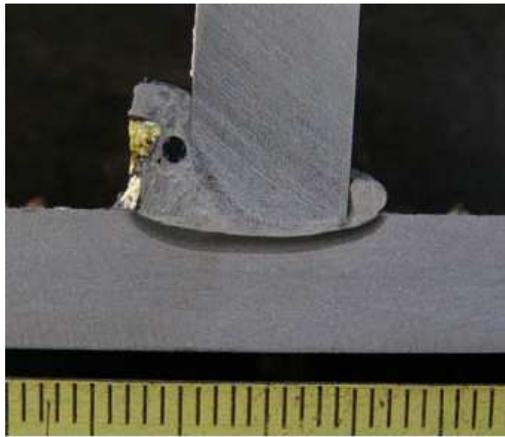
**Figura 2.7** Macrografía de una soldadura satisfactoria

En la figura 2.8 se tiene la macrografía de una soldadura en la cual el voltaje es excesivo, debido a la altura del arco, por lo que es propensa a la formación de porosidades.



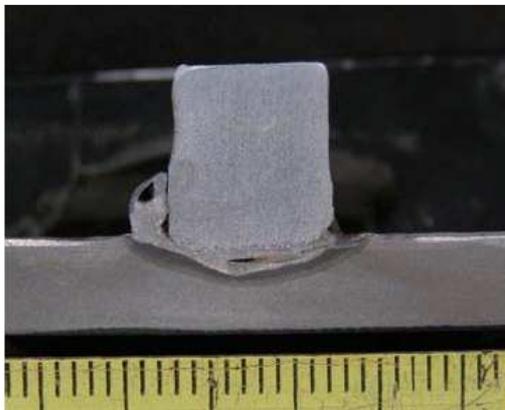
**Figura 2.8** Macrografía de una soldadura con excesivo voltaje.

En la figura 2.9 se tiene la macrografía de una soldadura en la cual se tiene un ángulo de soldadura, lo que provoca la acumulación de material en un extremo.



**Figura 2.9** Macrografía de una soldadura con ángulo de soldadura

En la figura 2.10 se tiene la macrografía de una soldadura en la cual el voltaje es insuficiente, lo que provoca poca penetración.



**Figura 2.10** Macrografía de una soldadura con poco voltaje.

Estos casos se pueden dar en la soldadura de espárragos, por lo que hay que tomar en cuenta las diferentes variantes de soldadura.

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO DE LA PISTOLA**

El diseño de la pistola requiere de un sistema de movimiento para que el espárrago haga el recorrido de vaivén requerido, para lo cual se tienen varias alternativas:

- Uso de un sistema mecánico
- Uso de un solenoide.
- Uso de un sistema hidráulico.

Teniendo en cuenta los aspectos fundamentales para la pistola que son: espacio limitado, peso limitado, costo, simplicidad del sistema y disponibilidad en el mercado la alternativa más conveniente es la del uso de un solenoide.

#### **7.1 SELECCIÓN DE MATERIALES**

En el diseño de la pistola van inmiscuidas varias propiedades para el adecuado funcionamiento de la misma. Se necesitaran diferentes materiales con diferentes propiedades como:

- Resistencia al calor (debido a las altas temperaturas del arco eléctrico)
- Fácil magnetización (para la utilización de un solenoide)
- Conductor de la electricidad (para el paso de la corriente de soldadura)
- Material aislante (para aislar la corriente de soldadura de los elementos delicados)
- Livianos (Disminuir el peso)
- Dúctiles (fácil maquinabilidad)

Las propiedades detalladas en la redacción anterior son indispensables en los materiales que conforman los distintos elementos de la pistola.

### 3.1.1 ALTERNATIVAS DE MATERIALES PARA EL DISEÑO

Teniendo en cuenta estos aspectos para el diseño tenemos las siguientes alternativas posibles y sus propiedades:

- Acero inoxidable martensítico
- Acero inoxidable austenítico
- Acero de construcción
- Aluminio
- Cobre
- Teflón

Considerando las propiedades que debe presentar cada elemento de la pistola estos materiales cumplen a satisfacción las exigencias del diseño.

Existen algunas alternativas más, que no han sido consideradas por ser demasiado costosas y escasas en el mercado Ecuatoriano.

#### 3.1.1.1 Acero inoxidable martensítico <sup>15</sup>

Los aceros inoxidables martensíticos son esencialmente aleaciones de Fe-Cr que contiene entre el 12% y el 17% de Cr con suficiente carbono (0,15% a 1% de C)-

Estas aleaciones se llaman martensíticas porque pueden desarrollar una estructura martensítica después de un tratamiento térmico de austenización y temple. puesto que la composición de los aceros inoxidables martensíticos se ajusta para optimizar resistencia y dureza, la resistencia a la corrosión de estos aceros es relativamente baja comparada con los austeníticos y ferríticos.

---

<sup>15</sup> SMITH WILLAM, (2004), "*Ciencia e ingeniería de materiales*", EDITORIAL MC. GRAW HILL, México, pág. 304  
ISTRATI GEORGE, (1961), "*Manual de los aceros inoxidables*", EDITORIAL ALSINA, Buenos Aires, pág. 37

La característica de estos aceros es que pueden ser tratados térmicamente como los aceros comunes al carbono, siendo sus propiedades mecánicas, en el estado templado y revenido, muy apreciables. Estos aceros son magnéticos, su aplicación es recomendable para aquellos casos en los cuales el ataque corrosivo es moderado y que al mismo tiempo, requiere resistencia mecánica, dureza y resistencia a la abrasión y a la erosión.

Este acero corresponde a la serie SAE-400

### 3.1.1.2 Acero inoxidable austenítico <sup>16</sup>

Los aceros inoxidables austeníticos son esencialmente aleaciones ternarias de hierro-cromo-níquel que contienen aproximadamente entre 16% - 25% de Cr y un 7% - 20% de Ni. Estas aleaciones se llaman austeníticas porque su estructura se mantiene como austenita (FCC, hierro tipo  $\gamma$ ) a la temperatura de los tratamientos térmicos normales.

Los aceros inoxidable austeníticos tienen normalmente mejor resistencia a la corrosión que los ferríticos y los martensíticos, porque los carburos pueden ser retenidos en disolución sólida por enfriamiento rápido desde temperaturas elevadas.

La característica común de estos aceros es que no son magnéticos en estado ablandado y no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico (no toman el temple). Pueden ser endurecidos notablemente al ser labrados en frío, adquiriendo al mismo tiempo un cierto grado de magnetismo. En estado ablandado, los aceros inoxidables austeníticos son más dúctiles y más resistentes que los aceros comunes al carbono.

Este acero corresponde a la serie SAE-300

---

<sup>16</sup> SMITH WILLAM, (2004), "*Ciencia e ingeniería de materiales*", EDITORIAL MC. GRAW HILL, Mexico, pág. 305  
ISTRATI GEORGE, (1961), "*Manual de los aceros inoxidables*", EDITORIAL ALSINA, Buenos Aires, pág. 37

### 3.1.1.3 Acero de construcción <sup>17</sup>

El acero de construcción constituye una proporción importante de los aceros producidos en las plantas siderúrgicas. Con esa denominación se incluye a aquellos aceros en los que su propiedad fundamental es la resistencia a distintas sollicitaciones (fuerzas tanto estáticas como dinámicas). De esta forma se los separa respecto a los aceros inoxidables, a los aceros para herramientas, a los aceros para usos eléctricos o a los aceros para electrodomésticos o partes no estructurales de vehículos de transporte. Cabe aclarar que en este concepto de Acero de construcción se pueden englobar tanto los aceros para construcción civil como para construcción mecánica.

Posee alta resistencia, homogeneidad en la calidad, a altas temperaturas sus propiedades mecánicas se ven afectadas, buena resistencia a la corrosión en condiciones normales. Si se le aplica mucha fuerza se comporta plásticamente. Si es posible magnetización, buena conductividad eléctrica.

Elementos de aleación son hierro y carbono:

- Aceros de bajo carbono ( $\%C < 0.25$ )
- Aceros de medio carbono ( $0.25 < \%C < 0.55$ )
- Aceros de alto carbono ( $2 > \%C > 0.55$ )

Este acero corresponde a la serie SAE-10XX

---

<sup>17</sup> WALES, Jimmy, [http://es.wikipedia.org/wiki/Acero\\_al\\_carbono](http://es.wikipedia.org/wiki/Acero_al_carbono)

#### 3.1.1.4 Cobre<sup>18</sup>

Metal de color rojo pálido, tenaz, maleable, bastante blando, con valencias 1, 2 y, muy raramente, 3 y 4. Es el metal con mejor conductividad eléctrica después de la plata, y también un buen conductor del calor.

El cobre es un metal importante en ingeniería y se utiliza ampliamente tanto en forma elemental, no aleado, como combinados con otros metales en forma de aleación. En forma no aleada, el cobre tiene una combinación extraordinaria de propiedades para aplicaciones industriales. Algunas de éstas presentan alta conductividad térmica y eléctrica, buena resistencia a la corrosión, resistencia media a la tracción, propiedades de recocido controlables y características generales de soldadura y unión.

El cobre forma parte de una cantidad muy elevada de aleaciones que generalmente presentan mejores propiedades mecánicas, aunque tienen una conductividad eléctrica menor. Las más importantes son conocidas con el nombre de bronce y latones. Por otra parte, el cobre es un metal duradero porque se puede reciclar un número casi ilimitado de veces sin que pierda sus propiedades mecánicas.

Posee buena maquinabilidad, resistente a la corrosión, alta conductividad térmica, y eléctrica, posible magnetización.

#### 3.1.1.5 Aluminio<sup>19</sup>

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la corteza terrestre y siempre se presenta combinado con otros elementos como hierro, oxígeno y silicio. La bauxita, que consiste principalmente en óxidos hidratados de aluminio, es la materia prima más utilizada para la producción de aluminio.

---

<sup>18</sup> SMITH WILLAM, (2004), "Ciencia e ingeniería de materiales ", EDITORIAL MC. GRAW HILL, México, pág. 299

<sup>19</sup>SMITH WILLAM, (2004), "*Ciencia e ingeniería de materiales* ", EDITORIAL MC. GRAW HILL, México, pág. 294.

ABRIL EDUARDO R.,(1966), "*Metalúrgica Técnica y Fundición*", EDITORIAL ALSINA, Buenos Aires, pág.158

Gracias a sus características, el aluminio es, después del hierro, el metal, más extendido, con una producción anual de aproximadamente 31 millones de toneladas. Generalmente no se utiliza puro, sino en aleación, que aumentan todavía más sus amplias características de base.

La densidad del aluminio es de  $2,7 \text{ g/cm}^3$  siendo solamente más pesado que el magnesio entre los metales de aplicación industrial.

La conductividad eléctrica es un 60% de la del cobre a igualdad de dimensiones. La resistencia a la corrosión es elevada debido a la formación de una película de óxido que le sirve de protección. La resistencia a la corrosión no se ve mayormente afectada por las impurezas normales, pero disminuye mucho en las aleaciones de alto porcentaje de elementos aleados.

#### **3.1.1.6 Teflón<sup>20</sup>**

El PTFE es uno de los materiales plásticos más termoestables. A una temperatura de  $260^\circ \text{C}$  no demuestra descomposición alguna; por lo tanto, a esta temperatura, conserva la mayor parte de sus propiedades. A partir de los  $400^\circ \text{C}$  en adelante, comienza una descomposición apreciable físicamente. También es un aislante excelente y un muy buen dieléctrico, ya que mantiene sus características a través de un amplio rango de condiciones ambientales, temperaturas y frecuencias. El PTFE es completamente flexible y no se quiebra cuando sufre esfuerzos de  $0.7 \text{ N/mm}^2$  de acuerdo con ASTM D 790.

#### **3.1.2 TABLA DE ELEMENTOS Y PROPIEDADES REQUERIDAS**

Para un mejor entendimiento sobre los elementos y de las propiedades que requieren se utilizara un método sencillo de selección.

---

<sup>20</sup> Industrias JQ, <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/Teflon/Virgen/propiedades.htm>

En la tabla 3.1 se tiene la escala de calificación:

<b>Escala</b>	
0	Nulo
1	Bajo
2	Medio
3	Alto

**Tabla 3.1** Escala

En la tabla 3.2 se tiene la relación entre el elemento y las propiedades requeridas, utilizando la escala de valores anterior:

	<b>Resistencia al calor</b>	<b>Conductividad eléctrica</b>	<b>Magnetización</b>	<b>Resistencia mecánica</b>
Férula	3	0	0	1
Triangulo	3	0	0	2
Porta esparrago	2	3	3	1
Sujetador eje	2	0	0	1
Eje parte 1	1	3	3	1
Eje parte 2	1	3	3	1
Eje parte 3	1	1	3	2
Resorte	1	1	2	3
Guías	2	0	0	3

**Tabla 3.2** Elementos vs propiedades

En la tabla 3.3 se tiene las posibilidades en materiales:

<b>Elementos</b>	<b>Materiales</b>
Férula	Cerámico
Triangulo	Acero inoxidable austenítico
Porta esparrago	Acero inoxidable martensítico
Sujetador eje	Teflón
Eje parte 1	Acero inoxidable martensítico
Eje parte 2	Acero inoxidable martensítico
Eje parte 3	Acero estructural
Resorte	Alambre estirado duro
Guías	Acero estructural

**Tabla 3.3** Elementos vs materiales

## **3.2 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS**

Para una mejor comprensión del diseño de cada elemento es necesario analizarlo por separado, teniendo en cuenta su función y las solicitaciones de esfuerzos entre otros aspectos.

### **3.2.1 PORTA ESPARRAGO.**

Este elemento contendrá al esparrago, no estará sometido a esfuerzos que representen un riesgo, debido a esto sus medidas son lo suficiente para que no represente un peso demasiado grande (ya que es de vital importancia el peso de los elementos) y que contenga en toda la extensión al esparrago. Consta de un cilindro hueco de 85 mm de largo, 13mm de diámetro interior y un diámetro exterior de 15mm, lo suficiente para contener al esparrago, además tendrá dos aberturas laterales de 2 mm a los lados cada una para sujetar al esparrago y que este en apriete, en un extremo será sostenido de un cilindro de 18mm de diámetro para poder tener el roscado M12x2.5 unos 10 mm para que se acople con el sujetador eje

y el eje respectivamente. Hay que tomar en cuenta que este elemento es cambiabile dependiendo del esparrago que se vaya a usar, pero para efectos de cálculo se utilizará el más grande (para el esparrago de 13mm de diámetro).

Además en este elemento irá la conexión de la energía necesaria para la soldadura, por lo que se tiene una rosca con una tuerca para su sujeción

### **3.2.2 TRIANGULO.**

Este elemento de igual manera no está sujeto a esfuerzos mayores, servirá de guía y para contener a la férula, será de geometría triangular (triangulo equilátero) para minimizar espacio y de ancho de 15mm, tendrá 3 agujeros en la cara de adelante, uno para contener al porta férula de 18.5 mm de diámetro y otros 2 de 6mm de diámetro para las guías respectivamente. También tendrá dos orificios en dos lados de 5mm de diámetro que servirán para ajustar con tornillos a la férula y mantenerla en su lugar.

### **3.2.3 SUJETADOR EJE.**

Este elemento es de vital importancia ya que su función es de transmitir el movimiento desde los elementos posteriores y también impedir que la corriente eléctrica se transmita hacia la parte posterior de la pistola, debido a esta función su material será de teflón, para lo cual será de forma cilíndrica con diámetros interno de 18mm y externo de 20mm y además con rosca interior a los dos extremos para ajustarse con los 2 elementos respectivamente.

### **3.2.4 EJE PARTE 1.**

Este elemento se une con el porta esparrago por medio del sujetador eje, tendrá forma cilíndrica con un diámetro de 18mm de diámetro y 25 mm de largo, además de ser roscado en los dos extremos para acoplarse al porta esparrago y al eje parte 2

respectivamente. Es el último elemento fuera de la carcasa, los siguientes elementos están dentro de ésta.

### **3.2.5 EJE.**

Se compone de 2 elementos los cuales están unidos mediante soldadura para mayor facilidad de construcción.

#### **3.2.5.1 Eje parte 2:**

Consiste en un elemento de dimensiones 26x26x15mm con un agujero roscado de 18mm para acoplarse al eje parte 1, también en el otro extremo irá unido a la parte 3 mediante una soldadura, el objeto de que éste elemento tenga ésta forma es para que este elemento no pueda girar (para que no se afloje) y se mantenga en su lugar.

#### **3.2.5.2 Eje parte 3:**

Este elemento consta de un cilindro, de 16mm de diámetro y en el extremo consta de un agujero roscado para acoplarse al solenoide.

### **3.2.6 GUÍAS:**

Estos elementos tienen la única función de guiar al espárrago y mantener al triángulo en posición segura, además tiene un largo necesario para llegar y contener hasta los espárragos más largos, estos elementos tienen función estática por lo que no realizarán ningún movimiento.

### 3.3 CÁLCULOS

Para realizar los cálculos, se toma en cuenta las dimensiones anteriores.

Los elementos que requerirán cálculos serán los siguientes:

- Resorte.- Este elemento proporcionara la fuerza necesaria para el retorno del conjunto, por lo que el diámetro del alambre, el material de éste y el número de espiras es primordial para el correcto funcionamiento.
- Solenoide.- Este elemento es el encargado de crear un campo magnético capaz de dar movimiento a todo el mecanismo de la pistola, es fundamental en el proyecto. Pues la fuerza que genere debe ser capaz de vencer a la fuerza del resorte mas la fuerza del peso de todo el conjunto.
- Además se necesita el cálculo del rozamiento que existe entre los elementos y comprobar si esta fuerza representa alguna dificultad para el funcionamiento de la pistola.

Para comenzar se necesita saber cuánto peso y fuerza deberá vencer el resorte, pero en esta etapa se analiza en dos casos, el primero cuando el resorte trabaje de forma vertical hacia arriba ya que tendrá que vencer la fuerza del peso de los elementos, y el segundo caso cuando la pistola trabaje en forma horizontal ya que el resorte tendrá que vencer la fuerza de rozamiento de los elementos.

Se partirá calculando la masa de los elementos, teniendo en cuenta las dimensiones ya descritas y un valor para la densidad de 7.85 g/cm<sup>3</sup> que es el valor de la densidad del acero. También se toma en cuenta el peso del espárrago de 13mm de diámetro y 100mm de largo.

Además no todos los elementos serán arrastrados por el solenoide, ya que estarán fijos para guiar al espárrago en la soldadura.

### 3.3.1 ESPARRAGO:

Cálculo del área, volumen y masa:

$$A = \pi r^2 = \pi \cdot (6.5^2)$$

$$A = 132.73 \text{mm}^2$$

$$V = 100 \times 132.73 = 13273.23 \text{mm}^3 = 13.273 \text{cm}^3$$

$$M = 13.273 \text{cm}^3 \times 7.85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 104.193 \text{g}$$

### 3.3.2 PORTA ESPARRAGO:

Cálculo del área, volumen y masa:

$$V1 = \pi 9^2 \times 20 = 6283.12 \text{mm}^3$$

$$V2 = (\pi \times 8^2 - \pi \times 6.5^2) \times 85 = 5808.02 \text{mm}^3$$

$$V = 6283.12 \text{mm}^3 + 5808.02 \text{mm}^3 = 12091.14 \text{mm}^3$$

$$M = 95.16 \text{g}$$

### 3.3.3 EJE PARTE 1

Cálculo del área, volumen y masa:

$$V = (\pi \times 4^2) \times 7 + (\pi \times 9^2) \times 25 = 6713.6 \text{mm}^3$$

$$M = 6.71 \text{cm}^3 \times 7.85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 52.673 \text{g}$$

### 3.3.4 EJE PARTE 2:

Cálculo del área, volumen y masa:

$$V1 = 26 \times 26 \times 15 - (\pi \times 9^2) \times 10 = 7595.3 \text{mm}^3$$

$$V2 = (\pi \times 11^2) \times 15 - (\pi \times 9^2) \times 15 = 1884.96 \text{mm}^3$$

$$V = 7595.3 \text{mm}^3 + 1884.96 \text{mm}^3 = 9480.26 \text{mm}^3$$

$$M = 9.48 \text{cm}^3 \times 7.85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 74.418 \text{g}$$

### 3.3.5 EJE PARTE 3:

Cálculo del área, volumen y masa:

$$V = (\pi \times 8^2) \times 40 = 8042.478 \text{mm}^3$$

$$M = 8.042 \text{cm}^3 \times 7.85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 63.129 \text{g}$$

### 3.3.5 TOTAL MASA DEL EJE:

Suma de las masas de las diferentes partes del eje:

$$M = 52.673 \text{g} + 74.418 \text{g} + 63.129 \text{g} = 190.22 \text{g}$$

Una vez obtenido la masa de cada elemento se procede a sumarlos:

$$M_t = 104.193 \text{g} + 95.16 \text{g} + 190.22 \text{g} = 389.573 \text{g}$$

Se consideraran dos condiciones críticas en el diseño:

- En posición sobre cabeza ya que en esta posición el resorte tendrá que levantar todo el peso de los elementos.
- En posición horizontal ya que en esta posición tendrá que vencer el rozamiento de los elementos con la carcasa.

### 3.3.7 CASO I POSICIÓN SOBRE CABEZA

En este caso no existirá rozamiento y el peso total de los elementos debido a la fuerza de gravedad es lo que el resorte tiene que levantar.

Con esta masa se calcula el peso que el resorte tendrá que levantar en posición vertical:

$$F_m = \frac{389.573}{1000} \text{Kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3.817\text{N}$$

Con este valor se tiene que la fuerza que tiene que tener el resorte comprimido tiene que ser mayor a 3.817N para que mueva a los elementos al momento de realizarse la soldadura.

### 3.3.8 CASO II POSICIÓN HORIZONTAL

En esta posición se supondrá que todo el peso de los elementos estará en rozamiento en una parte del eje y además existirá un rozamiento entre acero y plástico (material de la carcasa) entonces el resorte tiene que vencer la fuerza de rozamiento producida.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_m = N$$

$$F_m = \frac{389.573}{1000} \text{Kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3.817\text{N}$$

$$F_r = \mu \times N$$

$$\mu = 0.45 \text{ (acero/plastico)}$$

$$F_r = 0.45 \times 3.817\text{N} = 1.717\text{N}$$

Esto quiere decir que la fuerza de rozamiento producida entre la carcasa y los elementos en posición horizontal sería de 1.717N

Se tiene que comparar los valores obtenidos ya que el mayor valor es el que se tiene que tomar en cuenta para el diseño del resorte y del solenoide. Por lo que:

$$3.817N > 1.717N$$

Entonces se tomara el valor de 3.817N para el diseño del resorte.

### 3.4 RESORTE:

Primeramente se usa una sumatoria de fuerzas en el eje vertical (suponiendo que la pistola se encuentre en posición vertical hacia arriba) en el cual solamente existirían el peso de los elementos y la fuerza del resorte (en el caso estático).

$$\sum F_y = 0$$

$$P = F_{re}$$

$$F_{re} = 3.817N$$

Esta es la fuerza para mantener al sistema estático, por lo que para que exista una aceleración y por lo tanto movimiento ésta tiene que ser mayor. Por lo que:

$$\sum F_y = m \cdot a$$

$$m = \frac{3.817}{9.8} = 0.389Kg$$

Utilizando las formulas para el movimiento uniformemente acelerado:

$$V_f = V_o + at \quad \text{y} \quad V_f^2 = V_o^2 + 2ad$$

Pero  $V_o=0$  ya que comienza a moverse del reposo. Y  $d=0.01\text{m}$  que es la distancia máxima que tendrá de movimiento el eje y por lo tanto la distancia de soldadura.

Entonces:

$$a = \frac{V_f}{t} \rightarrow a^2 = \frac{V_f^2}{t^2}$$

$$V_f^2 = 2ad \rightarrow V_f^2 = 0.02a$$

Reemplazando  $V_f$  se tiene:

$$a = \frac{0.02}{t^2}$$

De esta fórmula se podría sacar la aceleración requerida en función del tiempo, pero el tiempo requerido para la soldadura de espárragos van desde 0,1 hasta 0,4 segundos tal como se observa en la tabla 3.4. Entonces es factible realizar una tabla para distinguir la mayor aceleración requerida:

Tiempo t [s]	Aceleración a [ $\frac{m}{s^2}$ ]
0,1	2
0,2	0,5
0,3	0,22
0,4	0,125

**Tabla 3.4** Tiempo vs aceleración

Analizando esta tabla se tiene que la aceleración máxima que tendría la pistola es de 2 m/s y es la que se utilizará para el diseño del resorte.

$$\sum F_y = m \cdot a$$

$$F_{re} - 3.817N = 0.389kg \times 2 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{re} = 4.595 \approx 4,6N$$

Teniendo esta fuerza podemos obtener la constante elástica del resorte tomando en cuenta como se hizo anteriormente una distancia de 0,01m de compresión del resorte, pero para garantizar el funcionamiento del resorte se utiliza un factor de seguridad de 1.4, por lo que la Fre quedaría=6.5N:

$$F_{re} = K \cdot X$$

$$K = \frac{F_{re}}{X} = \frac{6.5N}{0.01m}$$

$$K = 650.2 \frac{N}{m}$$

Este es el valor para la constante elástica requerida para el resorte.

A continuación se necesitara el cálculo para determinar el material, el diámetro del alambre resorte y número de vueltas del resorte, tomando en cuenta el valor calculado de la constante elástica.

El diámetro exterior del resorte no puede exceder los 35mm ya que para no hacer demasiado grande el tamaño de la pistola se ha tomado este parámetro, el largo del

resorte está limitado a 50mm, teniendo en cuenta estos parámetros se realiza el cálculo del resorte.

Se calculara la constante elástica k tomando en cuenta  $G=79.3\text{GPa}$ , un diámetro del alambre de 5mm, 8 espiras y un diámetro exterior de 35mm:

$$k = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 N} \quad (21)$$

$$k = \frac{5^4 \times (79.3) \times (10^6)}{8 \times 35^3 \times 8} = 18075.8 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Este valor es demasiado grande en relación a  $K = 650.2 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  que fue el calculado anteriormente por lo que es necesario variar el valor del diámetro del alambre y también el número de espiras, además el numero de espiras no debe ser excesivo para que el resorte pueda comprimirse 10mm y no exceda los 50mm de largo, por lo que se utiliza la fórmula:

$$L_m = N \times D_e$$

De esta manera  $L_m$  debe ser de 40mm para que los 10mm restantes sean posibles de contraerse.

Entonces se toman valores diferentes para el diámetro del alambre:

$$d = 4.5\text{mm}$$

---

<sup>21</sup> SHIGLEY Joseph, (2004), "*Manual de Diseño Mecánico*", edición 3º, ed. Mc GRAW, México, pag. 472

$$N = \frac{Lm}{d} = \frac{40}{4.5} = 8.88 \approx 8$$

Se procede a calcular el nuevo valor de k:

$$k = \frac{4.5^4 \times (79.3) \times (10^6)}{8 \times 35^3 \times 8} = 11844.02 \frac{N}{m}$$

Este valor todavía sigue siendo demasiado alto por lo que se necesita un valor menor de diámetro del alambre:

$$d = 3\text{mm}$$

$$N = \frac{Lm}{d} = \frac{40}{3} = 13.33 \approx 13$$

$$k = \frac{3^4 \times (79.3) \times (10^6)}{8 \times 35^3 \times 13} = 1440.52 \frac{N}{m}$$

Se tiene que cambiar el valor nuevamente:

$$d = 2\text{mm}$$

$$N = \frac{Lm}{d} = \frac{40}{2} = 20$$

$$k = \frac{2^4 \times (79.3) \times (10^6)}{8 \times 35^3 \times 20} = 184.96 \frac{N}{m}$$

Con  $d=2\text{mm}$  el valor de k es demasiado chico por lo que se necesita un valor intermedio:

$$d = 2.5\text{mm}$$

$$N = \frac{Lm}{d} = \frac{40}{2.5} = 16$$

$$k = \frac{2.5^4 \times (79.3) \times (10^6)}{8 \times 35^3 \times 16} = 564.45 \frac{N}{m}$$

Este valor es muy cercano pero en este caso es mejor variar el número de espiras para llegar al valor requerido:

Con N=14

$$k = \frac{2.5^4 \times (79.3) \times (10^6)}{8 \times 35^3 \times 14} = 645.076 \frac{N}{m}$$

Con N=13

$$k = \frac{2.5^4 \times (79.3) \times (10^6)}{8 \times 35^3 \times 13} = 694.7 \frac{N}{m}$$

Con d=2.5 y 13 espiras se llega a un valor muy cercano por lo que se usa estos parámetros para escoger el resorte.

Se utiliza un alambre estirado duro (0,7mm – 12mm) para mayor rigidez del resorte donde:

$$m = 0.192$$

$$A = 1750 \text{MPa}$$

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} = \frac{1750}{2.5^{0.192}} = 1467.69 \text{MPa}$$

$$S_y = 0.75 \cdot S_{ut} = 1100.77 \text{MPa}$$

$$S_{sy} = 0.577 \cdot S_y = 635.14 \text{MPa}$$

A continuación se realiza el cálculo de la fuerza máxima que resistirá el resorte:

$$F_{\max} = \frac{\pi \cdot d^3 S_s y}{8 \cdot K_s \cdot D} \quad (22)$$

$$C = \frac{D}{d} = \frac{35}{2.5} = 14$$

$$K_s = 1 + \frac{0.5}{C} = 1 + \frac{0.5}{14} = 1.0357$$

$$F_{\max} = \frac{\pi \times 2.5^3 \times 635.14}{8 \times 1.0357 \times 35} = 107.5 \text{ N}$$

Esta fuerza calculada es mucho mayor que el requerimiento de 5.4N, por lo tanto es seguro este resorte.

También se necesitara el cálculo del esfuerzo de torsión producido en el resorte, se utilizara  $F=5.4\text{N}$ :

$$\tau_{\max} = K_s \frac{8FD}{\pi \cdot d^3} \quad (23)$$

$$\tau_{\max} = 1.0357 \times \frac{8 \times (5.4) \times (35)}{\pi \cdot 2.5^3} = 31.9 \text{ MPa}$$

Este valor es bajo y no se acerca a los esfuerzos máximos calculados anteriormente por lo que no existirá esfuerzos que produzcan deformación del resorte en su funcionamiento.

---

<sup>22</sup> SHIGLEY Joseph, (2004), "*Manual de Diseño Mecánico*", edición 3º, ed. Mc GRAW, México, pag. 469

<sup>23</sup> SHIGLEY Joseph, (2004), "*Manual de Diseño Mecánico*", edición 3º, ed. Mc GRAW, México, pag. 469

### 3.5 CALCULO DEL SOLENOIDE:

Para realizar este cálculo se analizará el caso extremo en el cual el solenoide tenga que levantar al peso de los elementos más la fuerza del resorte, este es el caso en posición vertical hacia abajo.

Por lo tanto se suma la fuerza del peso de los elementos más la fuerza del resorte máxima:

$$F = 5.4\text{N} + 6.502\text{N} = 11.902\text{N}$$

Pero para que exista movimiento esta fuerza debería ser mayor y además se necesita un factor de seguridad, por lo que se tomara un factor de 1.4

$$F_{\text{max}} = 11.902\text{N} \times 1.4 = 16.6\text{N} \approx 16\text{N}$$

Es necesario conocer la permeabilidad magnética relativa para el cálculo de la fuerza magnética y el número de espiras del solenoide.

A continuación en la tabla 3.5 se detallan las permeabilidades relativas de distintos materiales.

Material	Permeabilidad relativa
Aluminio	1.000.023
Hierro	5
Cobre	0.99999
Oro	0.999964
Plomo	0.999983
Plata	0.999974

**Tabla 3.5** Permeabilidades relativas<sup>24</sup>

<sup>24</sup> <http://www.fullmecanica.com/p/permeabilidad-relativa>

Se escoge el hierro por presentar una mayor permeabilidad:

$$\mu_r = 5$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N}{A^2}$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

$$\emptyset = \text{diametro}$$

$$r_1 = \frac{\emptyset_{int}}{2}$$

$$n = \frac{L}{\emptyset} \text{ (Numero de espiras por capa, numero de espiras)}$$

Para una bobina:

$$B = \frac{n \cdot \mu_0 \cdot i}{2r} \text{ (25)}$$

Para un número indeterminado de espiras:

$$B_t = B_1 + B_2 + B_3 + \dots + B_p$$

$$B = \frac{n \cdot \mu_0 \cdot i}{2r_1} + \frac{n \cdot \mu_0 \cdot i}{2r_2} + \frac{n \cdot \mu_0 \cdot i}{2r_3} + \dots + \frac{n \cdot \mu_0 \cdot i}{2r_p}$$

$$B = \frac{n \cdot \mu_0 \cdot i}{2} \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_p} \right)$$

Pero:

$$r_2 = r_1 + \emptyset$$

$$r_3 = r_1 + 2\emptyset$$

---

<sup>25</sup> CORDOVA, Claudio, (2006), "Ejercicios de Física II", ed. EPN y RESNICK, Quito, pág 104.

$$r_p = r_1 + (p - 1)\theta$$

$$B = \frac{n \cdot \mu_0 \cdot i}{2} \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_1 + \theta} + \frac{1}{r_1 + 2\theta} + \dots + \frac{1}{r_1 + (p - 1)\theta} \right)$$

Entonces para n capas de alambre:

$$B = \frac{n \cdot \mu_0 \cdot i}{2} \sum_{j=1}^n \frac{1}{r_1 + (j - 1)\theta} \quad (26)$$

Para la primera capa:

$$B_0 = \frac{n \cdot \mu_0 \cdot i}{2} \frac{1}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2}}$$

Utilizando alambre AWG número 25,  $d=0.455\text{mm}$  con  $L=50\text{mm}$  (debido al espacio que se utilizará para el solenoide) da un total de 109 vueltas en una capa. Con 10 capas se tiene 1090 vueltas, y utilizando  $i=8$  se tiene para la primera capa:

$$B_0 = 2.15$$

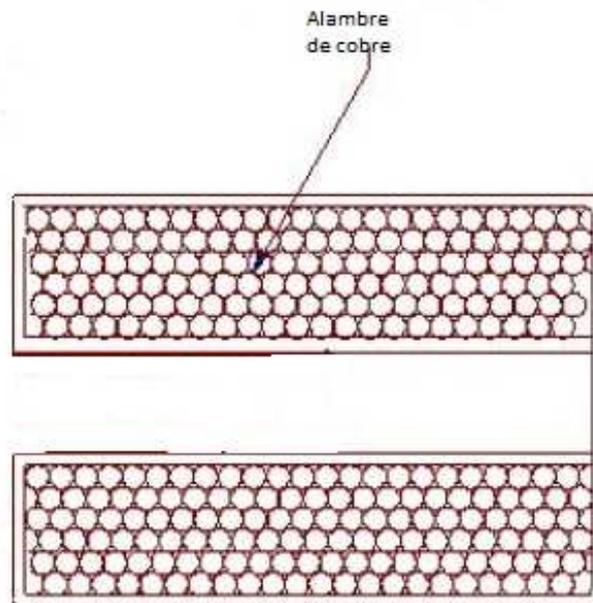
Además el radio total del solenoide es de:

$$R_t = 10 \times \theta = 4.55\text{mm}$$

---

<sup>26</sup> CORDOVA, Claudio, (2006), "*Ejercicios de Física II*", ed. EPN y RESNICK, Quito, pág 105.

En la figura 3.1 se esquematiza la configuración del alambre de cobre en el solenoide, los alambres de cobre están en capas y numero de vueltas alrededor del núcleo.



**Figura 3.1** Esquema del solenoide

Área del solenoide:

$$A = \pi r^2 = \pi \cdot 0.05^2 = 0.01429 \text{ m}^2$$

$$u_t = I \cdot A = 0.11435 \text{ Am}^2 \text{ (}^{27}\text{)}$$

$$\tau = u_t \cdot B \cdot \text{sen}90 = 0.2465 \text{ N} \cdot \text{m} \text{ (}^{28}\text{)}$$

Fuerza del solenoide:

$$F = \frac{\tau}{R} = 54 \text{ N} \text{ (}^{29}\text{)}$$

<sup>27</sup> CORDOVA, Claudio, (2006), "Ejercicios de Física II", ed. EPN y RESNICK, Quito, pág 107.

<sup>28</sup> CORDOVA, Claudio, (2006), "Ejercicios de Física II", ed. EPN y RESNICK, Quito, pág 107.

<sup>29</sup> CORDOVA, Claudio, (2006), "Ejercicios de Física II", ed. EPN y RESNICK, Quito, pág 107.

Esta fuerza es demasiado grande al utilizar 8 amperios, por lo que se necesita una intensidad de corriente menor:

Con  $F=16\text{N}$  (fuerza que se necesita el solenoide)

$$16 = \frac{\tau}{0.00455\text{m}} \rightarrow \tau = 0.0728 \text{ Nm}$$

$$\tau = u \cdot B = 2\pi \cdot 10^{-7} \cdot B = 0.0728 = N \cdot i \cdot A \cdot B$$

$$B = \frac{0.0728}{1090.8 \cdot (0.01424)} = 0.58422 \text{ mT}$$

$$0.58422 = \frac{u_o(1090)i}{2\sqrt{(0.0045)^2 + (0.05/2)^2}} \rightarrow i = 0.463$$

Para que el solenoide entregue una fuerza de 16 N, se requiere una intensidad mínima de 0.463 A.

### 3.6 FUNCIONAMIENTO DE CADA ELEMENTO

Férula cerámica: Es la encargada de proteger al esparrago y la soldadura de agentes externos, ayuda a concentrar el calor de soldadura y protege al soldador del arco formado por la soldadura. Esta férula es reutilizable e intercambiable.

Para sostener y contener al espárrago se necesitará un porta espárrago, de forma cilíndrica con aberturas laterales para dar un mejor agarre al tener un poco de presión, debe ir en apriete con el esparrago para evitar que el esparrago se resbale y

Cree un corto circuito en lugar de un arco eléctrico. Este elemento transmitirá el movimiento de vaivén del eje al estar unido al sujetador eje por medio de una rosca en el extremo. Un contacto capaz de pasar la corriente de soldadura estará conectado a esta parte.

Para poder guiar el conjunto Esparrago-férula se necesitara un elemento que lleve las guías para una soldadura de manera recta, además servirá para apretar la férula con el porta esparrago.

Será de forma triangular para minimizar material con tres agujeros para las guías y la férula.

En la parte del porta férula se necesitará un elemento que ajuste y lleve el movimiento del eje al porta férula, este elemento será de forma cilíndrica con rosca interior se lo llamara sujetador eje. Este elemento será de teflón para evitar la transmisión de corriente de soldadura hacia los elementos de atrás de la pistola.

Después se tiene el eje, el cual será analizado y compuesto en 3 partes ya que cada una cumple con un objetivo.

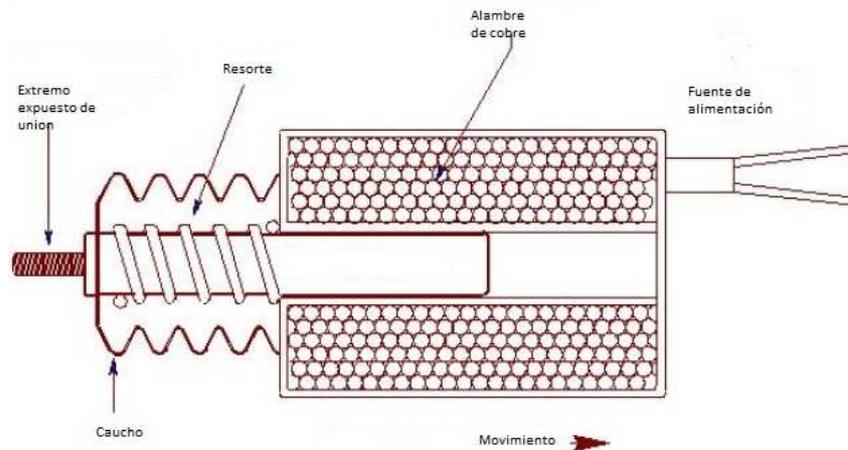
El eje parte 1 servirá para sujetar y transmitir el movimiento que proporciona el solenoide y el resorte desde la Parte 2.

El eje parte 2 servirá para unir las partes 1 y 3 del eje, también tendrá la función de evitar el movimiento circular para poder ajustar la parte 1 y que se desajuste con el movimiento. Adicional este elemento estará en el interior de la carcasa para evitar su recorrido hacia el exterior.

El eje parte 3 tiene la función de transmitir directamente el movimiento del solenoide y del resorte. Este elemento irá unido mediante soldadura al eje parte 2 y con una rosca de unión al solenoide.

Debido a que el resorte viene de fábrica con el solenoide, solamente se hace necesario constatar que levante el peso necesario para el funcionamiento, además el solenoide ya contiene un eje en su interior y también un extremo de unión para poderlo acoplar al eje parte 3.

En la figura 3.2 se representa el solenoide con las piezas internas como son el eje interno y el resorte.



**Figura 3.2** Esquema del solenoide con sus partes interiores

### 3.7 CIRCUITO DE CONTROL

Debido a que la pistola va conectada al transformador de soldadura, se necesitará un circuito de control para realizar las siguientes tareas:

- Dar inicio a la soldadura desde un pulsador.
- Proporcionar la energía necesaria al solenoide.
- Dar paso a la corriente de soldadura.
- Regular el tiempo de soldadura y funcionamiento del solenoide.
- Proteger al transformador y a la pistola de posibles fallas.
- Proteger al soldador.

Este circuito deberá tener algunos elementos esenciales, tales como: un pulsador para dar comienzo a la soldadura, relés para abrir y cerrar los circuitos menores, un contactor el cual sirve exclusivamente para abrir y cerrar la corriente de soldadura, temporizadores para regular el tiempo de soldadura, un solenoide encargado de crear un campo magnético que servirá para mover los elementos de la pistola de soldadura, elementos de seguridad como fusibles para proteger el circuito y al soldador, elementos para la proporción de energía tales como una batería para el

solenoides y la energía que proporciona el cableado eléctrico, un transformador de soldadura de 300 A y cables para la conexión.

### 3.8 SELECCIÓN DE ELEMENTOS DEL CIRCUITO

Ya que existen una gran variedad de elementos en el mercado para el circuito, se necesitara una selección de los elementos la cual se detalla a continuación:

#### 3.8.1 PULSADOR:

Este elemento irá en la pistola, se necesita que su tamaño sea el adecuado para que entre en el agujero, será el encargado de abrir o cerrar el circuito de soldadura.

#### 3.8.2 RELÉ:

Controlará la corriente del solenoide y del contactor, al abrir y cerrar el paso de la corriente, mediante el uso de una bobina interna que funciona con 12V (DC).

Se usara relés de pito de 30 A, de 5 terminales debido a su precio y disponibilidad en el mercado, a continuación en la figura 3.3 se detalla sus características:

Schließer mit 5 Anschlüssen · Normally open relays with 5 terminals Relais contacteur avec 5 bornes · Cierre con 5 terminales				
Type-Nr.	Volt	Ampere	Alle mit Lasche · All with bracket Tous avec patte · Todos con grapa	
2252	12 V	30 A		
2254	12 V	40 A		
4252	24 V	20 A		
4254	24 V	30 A		

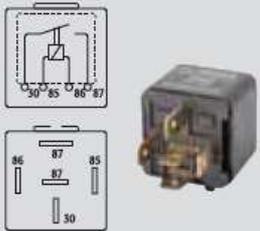


Figura 3.3 Relé seleccionado<sup>30</sup>

<sup>30</sup> POULSEN, [http://www.poulsen.is/assets/files/Floesser\\_Katalog\\_2009\\_2010\\_100.pdf](http://www.poulsen.is/assets/files/Floesser_Katalog_2009_2010_100.pdf)

### 3.8.3 CONTACTOR:

Este elemento tiene la función de abrir y cerrar el paso de la corriente de soldadura mediante una bobina interna que trabaja con 220V(AC).

A continuación en la figura 3.4 se detallan las especificaciones generales:

**1. General**

- 1.1 Certificaciones CE, VDE, ESC, UKRTEST, RCC, UL.
- 1.2 Rangos eléctricos: Ac 50/60 Hz, hasta 1000V, hasta 630A
- 1.3 Aplicación: control remoto para abrir y cerrar circuitos: circuito de protección de la sobrecarga en el montaje con relé térmico
- 1.4 Temperatura ambiente -5°C hasta +40°C
- 1.5 Altura <= 2000m
- 1.6 Categoría de montaje: III
- 1.7 Condiciones de montaje: la inclinación entre el plano de montaje y la vertical no debe exceder 5°
- 1.8 Estándar: IEC/EN 60947-4-1

**2. Designación**

NC2-□□□□/□

- Número de polos: 2P, 4P, blanco 3P
- Código de derivación
- N: contactor inversor
- NS: montaje horizontal
- NC: montaje vertical
- J: tipo de montaje eléctrico
- Corriente nominal de funcionamiento
- Diseño de la secuencia No.
- Contactor
- Código de la empresa



**Figura 3.4** Contactor seleccionado<sup>31</sup>

Considerando que el diseño de esta pistola permite soldar espárragos de hasta 13mm, se toma en cuenta la tabla 2.1 que especifica que para diámetro 12 mm la intensidad más apropiada es la de 400 A. Se selecciona el contactor NC2-400, debido a su disponibilidad en el mercado y su precio razonable.

En la figura 3.5 se detallan los cables para las terminales de conexión.

<sup>31</sup>CHINT, <http://www.chint.co.uk/upload/product47.pdf>

Modelo	Cableado			Tornillo	Apriete (N.m)
	Numero de partes	Sección (mm <sup>2</sup> )	Sección Cu (mm <sup>2</sup> )		
NC2-115	1	70	-	M6	3
NC2-150	1	70	-	M8	6
NC2-185	1	120	-	M8	6
NC2-225	1	120	-	M10	10
NC2-265	1	185	-	M10	10
NC2-330	1	240	-	M10	10
NC2-400	1	240	-	M10	10
NC2-500	2	185	40x5	M10	10
NC2-630	2	240	50x5	M12	14

**Figura 3.5** Terminales de conexión<sup>32</sup>

En la figura 3.6 se detallan los datos de funcionamiento (corriente, voltaje, vida útil, etc) del modelo a utilizar (NC2 400)

Modelo		NC2- 400	
Marco		Marco 5	
Corriente de calentamiento		450	
Corriente de funcionamiento	AC-3, AC-4	380/400V AC	400
		660/690V AC	303
		1000V AC	200
Poder del control de 3 fases con motor (AC-3)	KW	380/400V AC	200
		660/690V AC	280
		1000V AC	185
	Hp	240V AC	-
		415V AC	-
		480V AC	-
		600V AC	-
Ciclo de operaciones (operaciones /h) AC-3		600	
Vida eléctrica (x 10 <sup>6</sup> operaciones) AC-3		0.8	
Vida mecánica (x 10 <sup>6</sup> operaciones)		6	
Fusible	Modelo	RT16-3	
Tipo	Corriente de funcionamiento (A)	560	

**Figura 3.6** Datos de funcionamiento<sup>33</sup>

<sup>32</sup> CHINT, <http://www.chint.co.uk/upload/product47.pdf>

<sup>33</sup> CHINT, <http://www.chint.co.uk/upload/product47.pdf>

### 3.8.4 TEMPORIZADOR:

Controlará el tiempo de encendido del solenoide y del contactor, ya que al variar este tiempo se obtendrá diferentes calidades de soldadura. Además este temporizador deberá tener un rango mínimo de 0.05s y un amperaje de funcionamiento de 30 A.

En la figura 3.7 se tienen los datos generales de funcionamiento del temporizador utilizado:

Artículo		Multi Timer		
Modelo		AT8N	Analog Timer	
		AT11DN	AT11EN	
Apariencia		 [W48×H48×L65mm]	 [W48×H48×L65mm]	 [W48×H48×L65mm]
Función	Multi Timer (Includes 6 output modes)			
Tiempo de ajuste	0.05sec ~ 100hour			
Fuente	• 24 - 240VAC 50/60Hz / 24 - 240VDC • 1.2VDC (Option)			
Rango de voltaje admisible	90 - 110% of rated voltage			
Tiempo reajuste	Max. 100ms			
Señal Min.	—————	Min. 50ms	Min. 50ms	
Operación	Power ON Start	Signal ON Start	Signal ON Start	
Protección	—————	—————	—————	
Salida	Tipo	According to output operation. Time limit 2c or Time limit 1c+ Instantaneous 1c	Time limit DPDT(2c)	Time limit SPDT(1c), Instantaneous SPDT(1c)
	Capacidad	250VAC 3A resistive load		
Vida	Mecánica	Mín. 10,000,000 times		
	Eléctrica	Mín. 100,000 times (Rated contact capacity)		
Error repetición	Max. ±0.3%			
Error	Max. ±5% ±0.05sec			
Error voltaje	Max. ±0.5%			
Error Temp.	Max. ±2%			
Referencia	B-3B-44			

B-3

Autonics

Figura 3.7 Datos del temporizador.<sup>34</sup>

Para el control se utilizara el AT11 DN debido a su disponibilidad y precio en el mercado.

<sup>34</sup> AUTONICS, [http://www.autonicsonline.com/pdf/Timer\\_Total\\_7th.pdf](http://www.autonicsonline.com/pdf/Timer_Total_7th.pdf)

### 3.8.5 SOLENOIDE:

Este elemento es de vital importancia ya que es el que realiza el movimiento de la soldadura y el retorno mediante un resorte. Este elemento tiene las características precisas las cuales ya están calculadas anteriormente:

- Levantar y mantener 6.5N (Fuerza magnética)
- Levantar 6.5N (Fuerza del resorte)
- Tener el tamaño adecuado

Teniendo en cuenta estos aspectos, la disponibilidad, y un precio razonable:

En la figura 3.8 se tienen los datos generales del solenoide.

En la figura 3.9 están los datos de funcionamiento del solenoide utilizado.

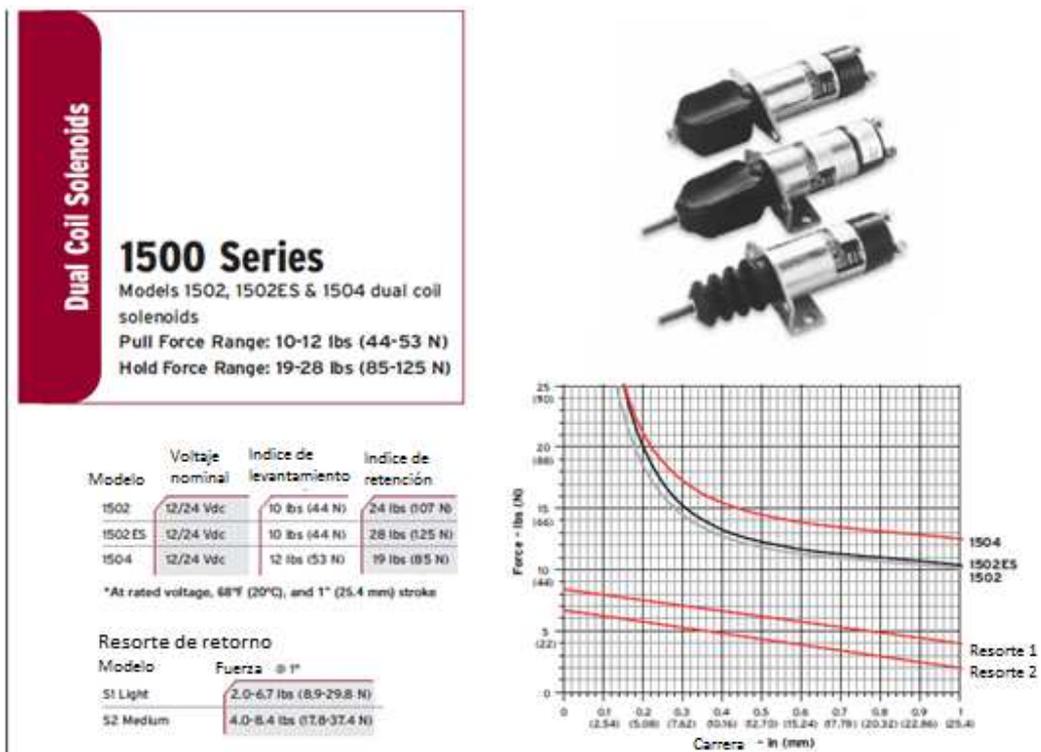


Figura 3.8 Datos básicos del solenoide WOODWARD modelo 1502.<sup>35</sup>

<sup>35</sup> WOODWARD, <http://trombetta-solenoids.com/SYNCHRO-START%20CATALOGb.pdf>

Especificaciones

Rango de temperatura	-40° F to +250° F (-40° C to +121° C)	
Peso	1.0 lbs (0.5 kg)	

Modelo	Voltaje nominal	Carrera nominal	Intencidad	Intencidad de mant.	Indice de arrastre	Indice de soporte	Bobinado
1502	12 Vdc	1" (25.4 mm)	30 A	0.7 A	10 lbs (44 N)	24 lbs (107 N)	Parallel
1502	24 Vdc	1" (25.4 mm)	16 A	0.24 A	10 lbs (44 N)	24 lbs (107 N)	Parallel
1502ES	12 Vdc	1" (25.4 mm)	30 A	0.7 A	10 lbs (44 N)	28 lbs (125 N)	Parallel
1502ES	24 Vdc	1" (25.4 mm)	16 A	0.24 A	10 lbs (44 N)	28 lbs (125 N)	Parallel
1504	12 Vdc	1" (25.4 mm)	41 A	0.76 A	12 lbs (53 N)	19 lbs (85 N)	Parallel
1504	24 Vdc	1" (25.4 mm)	22 A	0.37 A	12 lbs (53 N)	19 lbs (85 N)	Parallel

Figura 3.9 Datos de funcionamiento del solenoide.<sup>36</sup>

Teniendo en cuenta estos datos este solenoide es el adecuado.

### 3.9 FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO DE CONTROL

Una vez seleccionados los elementos del circuito de control se realizarán las conexiones para obtener el circuito, A continuación en la figura 3.10 se tiene el esquema del circuito:

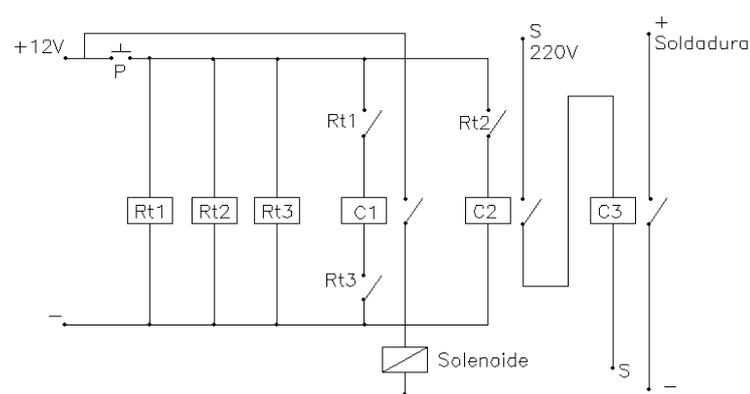


Figura 3.10 Circuito de control.

<sup>36</sup>WOODWARD, <http://trombeta-solenoids.com/SYNCHRO-START%20CATALOGb.pdf>

Donde:

Rt1: temporizador del solenoide

Rt2: temporizador del contactor

Rt3: temporizador de desfase

C1, C2: relé

C3: contactor

P: pulsador

Al aplastar el pulsador (P) que se encuentra en la pistola se cierra el circuito, entran en funcionamiento los temporizadores: uno del contactor C3 (Rt2) y el otro de desfase para el solenoide (Rt1), para mayor facilidad de dividirá en tres análisis:

- Circuito del solenoide
- Circuito del contactor
- Desfase del tiempo

### **3.9.1 CIRCUITO DEL SOLENOIDE**

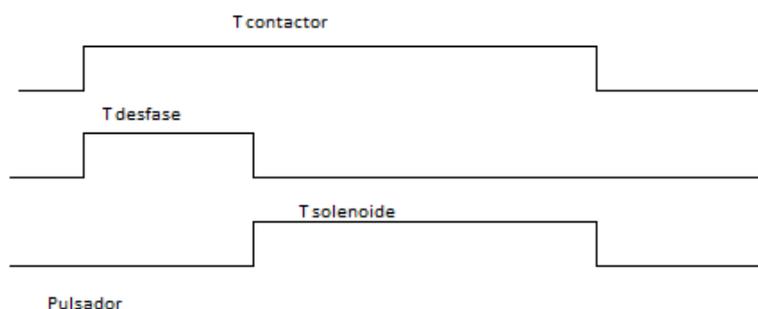
Al cerrar el circuito se ponen en funcionamiento los dos temporizadores, uno para desfasar el tiempo con el circuito del contactor y el otro para el tiempo de funcionamiento del solenoide mediante el accionamiento del relé (C1) en cual habilita la corriente y entra en funcionamiento. Además este circuito y el solenoide funcionan con la batería de 12V.

### 3.9.2 CIRCUITO DEL CONTACTOR

Al cerrar el circuito se acciona el temporizador del contactor para que funcione durante el tiempo seleccionado, se acciona el relé (C2 de 12V) el cual acciona la corriente de funcionamiento del contactor (220V), y este último cierra el circuito de soldadura mediante la conexión al transformador.

### 3.9.3 DESFASE DEL TIEMPO

Una vez realizado el circuito hay que tomar en cuenta que hay 3 temporizadores, uno para el solenoide, otro para el contactor y otro para el desfase, para entender mejor se describe en la figura 3.11:



**Figura 3.11** Desfase del tiempo

Al presionar el pulsador se accionan el temporizador del contactor y el de desfase, luego el temporizador de desfase acciona al del solenoide, para un funcionamiento más simple se recomienda mantener el tiempo de desfase la más pequeña posible y tratar de que el tiempo del contactor y del solenoide sean los mismos.

### **3.10 CONSTRUCCION DE LA PISTOLA DE ESPARRAGOS**

Los elementos que conformaran la pistola de espárragos se los conformara mediante virutaje, debido a su bajo costo y fácil fabricación por lo que se necesitarán las hojas de procesos, planos de taller y de conjunto para su correcta construcción.

#### **3.10.1 HOJAS DE PROCESOS**

Una vez realizados los cálculos necesarios para el diseño y el escogimiento de los materiales de las diferentes piezas, se necesitaran las hojas de procesos correspondientes para la construcción de los elementos que conforman la pistola.

Hay que tomar en cuenta que los elementos serán construidos con máquinas herramientas (excepto la carcasa que se conformara mediante fundición), por lo que es necesario el detalle de los pasos a seguir para su correcta construcción.

Las hojas de procesos utilizadas se detallan en los anexos.

#### **3.10.2 PLANOS DE TALLER**

Para la construcción de los elementos son necesarios los respectivos planos de: conjunto y de taller con las medidas y detalles específicos para la elaboración de cada parte que constituye este equipo.

Los planos utilizados para la construcción de esta máquina los encontramos en el anexo B.

## **CAPITULO IV**

### **PRUEBAS DE SOLDADURA**

#### **4.1 PROTOCOLO DE PRUEBAS DE SOLDADURA**

Es trascendental la realización de un protocolo de pruebas, que exponga las variables del proceso (tiempo y amperaje) óptimos, para obtener una soldadura de buena calidad. Considerando que la máquina soldadora de espárragos, presenta la versatilidad de variación de parámetros que facilitarán la obtención de los datos requeridos.

Para la realización de las pruebas se estimó la utilización de un espárrago de 6mm de diámetro, por ser el diámetro intermedio para lo que está diseñada la pistola.

Se realiza una serie de pruebas con diferentes tiempos y amperajes tanto en acero al carbono como con acero inoxidable, tomando como base investigaciones realizadas previamente, en donde se obtiene excelentes propiedades de soldadura, utilizando un tiempo de 0.3 s con un amperaje de 300A para un diámetro de 6mm.

##### **4.1.1 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

Para una correcta realización de las pruebas se requiere hacer un procedimiento adecuado:

1. Verificar que los fusibles estén desconectados para mayor seguridad.
2. Realizar las conexiones correctamente desde el circuito de control, a la batería de 12 voltios, a la corriente de 220 voltios, a la pistola, al solenoide y del transformador hacia la placa y al circuito de control.
3. Realizar la correcta preparación del esparrago (con punta o sin ella según sea el caso) y la placa.

4. Colocar la férula en el triángulo (ajustar su posición con los tornillos de sujeción), el esparrago en la pistola verificando que solo la punta este hacia afuera y mover las guías con el triángulo hasta tener una posición adecuada.
5. Calibrar el tiempo deseado en los temporizadores (según sea el caso), conectar los fusibles de solenoide y pulsador, luego verificar el correcto movimiento del esparrago y del tiempo deseado sin corriente de soldadura.
6. Encender el transformador de soldadura, colocar el amperaje deseado y conectar el fusible del contactor
7. Colocar la pistola en posición haciendo contacto de la punta del esparrago con la placa, pulsar el botón de la pistola y mantener pulsado hasta terminar la soldadura, procurar mantener la pistola en su posición sin moverla.

NOTA: Para mayor seguridad utilizar guantes de soldadura.

#### **4.1.2 VARIACION DE PARÁMETROS**

Se tiene una tabla para definir las diferentes variaciones, además es necesario tomar en cuenta el espesor de la placa, voltaje y un amperaje de trabajo (ya que este varia debido a la calidad de la maquina). También es necesario tomar en cuenta que de cada variación se tomaran 2 pruebas, la primera servirá de muestra y la segunda para la realización de una macrografía para determinar la calidad de la soldadura y la penetración de ésta.

Todas las pruebas excepto la A y B el esparrago tiene una preparación inicial, consiste en hacer punta al esparrago a 45°, esto es para que la transferencia del material sea mejor. En las pruebas A y B, las cuales son con 0.3s de tiempo y 300A, pero tienen la particularidad que el esparrago no tiene preparación.

En la tabla 4.1 se tienen las diferentes pruebas realizadas para acero al carbono, realizando la variación de parámetros, espesor de placa, así como también el voltaje y amperaje (nominal y de práctica) utilizados.

Para acero al carbono:

Prueba	A nominal [A]	A practica[A]	Tiempo [s]	Øesp. [mm]	Voltaje [V]	e placa [mm]
1	250	295-250	0.15	6	30	3
2	250	275-245	0.2	6	30	3
3	250	238-238	0.3	6	30	3
4	275	281-275	0.15	6	30	3
5	275	240-245	0.2	6	30	3
6	275	278-283	0.3	6	30	3
7	300	310-317	0.15	6	30	3
8	300	297-297	0.2	6	30	3
9	300	357-330	0.3	6	30	3
A	300	345-347	0.3	6	30	3
B	300	347-342	0.3	6	30	3

**Tabla 4.1** Variaciones de parámetros para acero al carbono.

En la variación de parámetros se ve claramente que el amperaje tiene variaciones de 250, 275 y 300 A y el tiempo tiene variaciones de 0.15, 0.2 y 0.3 s para cada probeta realizada.

En la tabla 4.2 se tienen las diferentes pruebas realizadas para acero inoxidable, realizando la variación de parámetros, espesor de placa, así como también el voltaje y amperaje (nominal y de práctica) utilizados.

Para acero inoxidable

Prueba	A nominal (A)	A practica(A)	Tiempo (s)	Øesp.(mm)	Voltaje (V)	e placa (mm)
1	300	345-364	0.3	6	30	3
2	300	351-310	0.2	6	30	3
3	250	298-254	0.3	6	30	3
4	250	247-269	0.2	6	30	3

**Tabla 4.2** Variaciones de parámetros para acero inoxidable.

En la variación de parámetros se ve claramente que el amperaje tiene variaciones de 250 y 300 A y el tiempo tiene variaciones de 0.2 y 0.3 s para cada probeta realizada.

Una vez obtenidas las soldaduras correctamente enumeradas, se realiza la preparación de las probetas para los ensayos macrográficos que muestren la penetración de la soldadura, los defectos, la fusión superficial, la zona afectada por el calor, etc.

#### **4.1.3 MACROGRAFIAS**

Las macrografías se realizaron en el laboratorio de ciencia de materiales de la Escuela Politécnica Nacional, en la facultad de Ingeniería Mecánica.

#### **4.1.4 PROCEDIMIENTO MACROGRAFIAS**

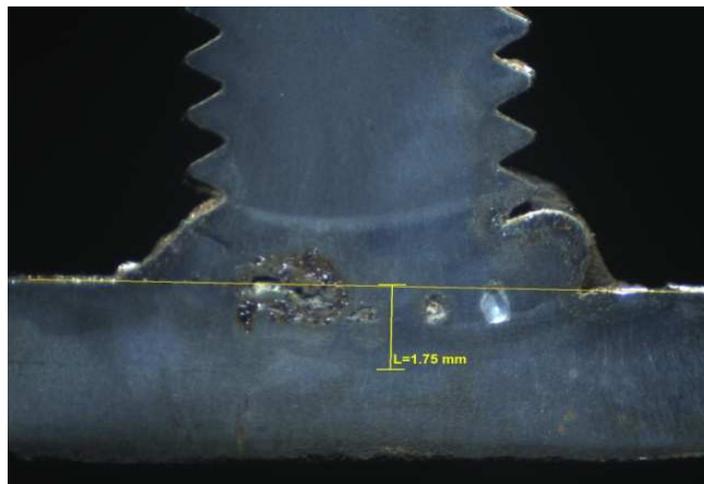
Es necesario describir el procedimiento para la realización de las macrografías luego de realizar las soldaduras con los diferentes tiempos y amperajes.

1. Cortar las probetas con una cizalla o con sierra para tener una menor superficie de trabajo. También recortar el espárrago hasta una medida de unos 2 cm.
2. Cortar con sierra lo más cerca posible de la soldadura.
3. Realizar el desbaste a través de la soldadura con una piedra en el esmeril, procurando tener solo un plano de trabajo para minimizar el trabajo en los posteriores desbastes. Tener cuidado con el recalentamiento de la probeta.
4. En el laboratorio realizar el desbaste fino en la máquina de desbaste hasta obtener un solo plano de trabajo.
5. Realizar el desbaste manual en las diferentes lijas (240, 320, 400 y 600) hasta obtener un plano de trabajo correctamente fino para poder observar de la mejor manera.
6. Se limpia la superficie con alcohol y se seca con una secadora para que no se corra.

7. Se procede a atacar las muestras para lo cual las probetas de acero al carbono se atacara con nital (solución de alcohol y acido nítrico) al 10% para permitir ver las micro estructuras y para las probetas de acero inoxidable se usará cloruro férrico y acido hidroclicórico para poder ver las micro estructuras. El ataque durara solamente unos segundos.
8. Se limpia nuevamente con alcohol y se seca.
9. Una vez realizado el ataque químico se procede a tomar fotos en un microscopio, pero debido a que son macrografías solo se usa un acercamiento de 10x.
10. Por último se procede a medir la penetración obtenida y la presencia de burbujas.

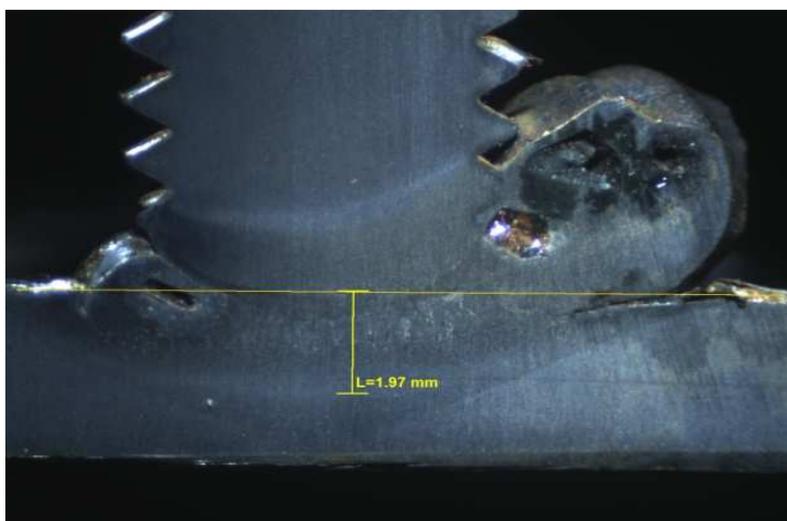
Una vez realizadas las macrografías tenemos las fotografías de cada una de las probetas.

En la fotografía 4.1 se puede observar una muy buena penetración alrededor de 1,75mm lo que la hace aceptable, también se puede apreciar formaciones de porosidades que son causadas por la falta de limpieza en las superficies hacer soldadas.



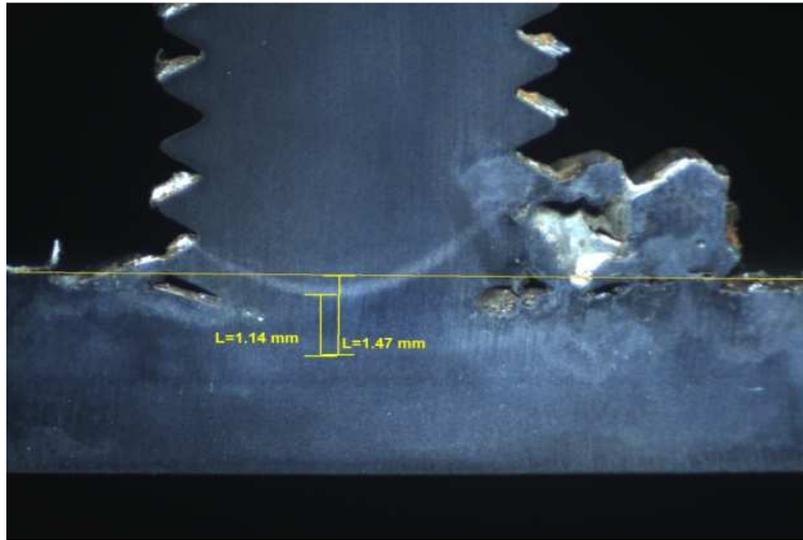
**Fotografía 4.1** Macrografía de acero al carbono, muestra 2

En la fotografía 4.2 se puede observar a la muestra 3 de acero al carbono, en esta probeta se mantuvo los parámetros de voltaje e intensidad iguales a los de la muestra 2, variando tan solo el tiempo, como resultado de esta variación se obtuvo mayor penetración (1,97mm). Existe una acumulación de material hacia un lado de la soldadura, esto se debe a que en el momento de la formación del arco se crea un charco de metal que si el soldador no tiene la experiencia necesaria hará que la herramienta se deslice hacia un costado permitiendo la acumulación de material y la formación de porosidades.



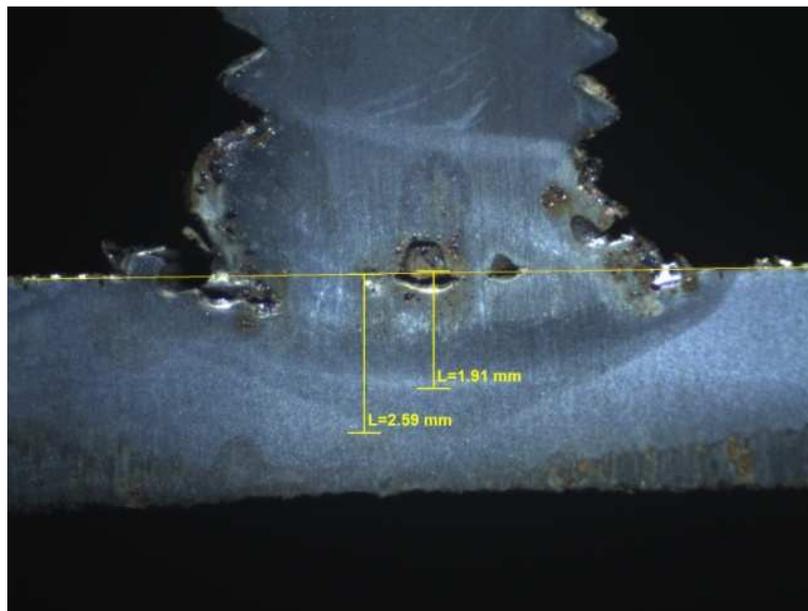
**Fotografía 4.2** Macrografía de acero al carbono, muestra 3

En la fotografía 4.3 se exhibe la muestra 4, en donde se mantuvo constante el voltaje, el diámetro del esparrago y el espesor de la placa. Mientras que se aumento la intensidad de corriente y se disminuyo el tiempo. Como resultado se obtuvo una disminución de en la penetración y en la zona afectada por el calor. También se puede apreciar que existen porosidades que pueden deberse a la falta de limpieza de las superficies hacer soldadas como por la mala manipulación de la pistola.



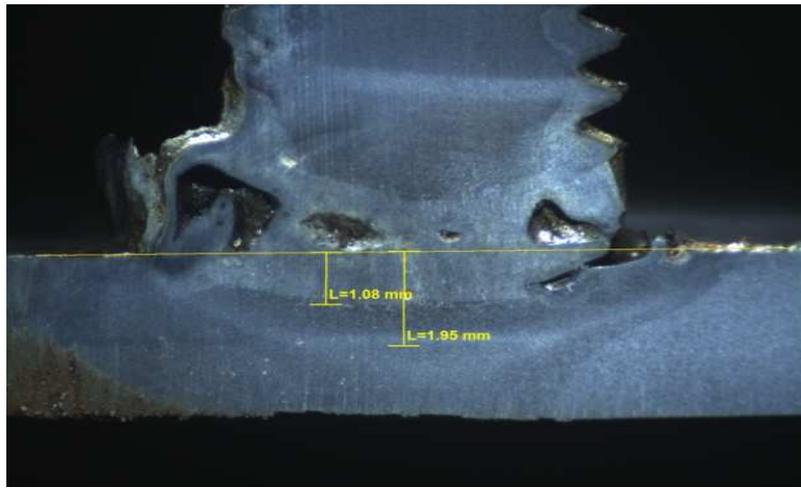
**Fotografía 4.3** Macrografía de acero al carbono, muestra 4

En la fotografía 4.4 se observa la muestra 5, en esta probeta se incremento el tiempo manteniendo todos los demás parámetros constantes. Si bien es cierto se ha obtenido una buena penetración pero existen mordeduras en la zona de soldadura debido a un exceso de intensidad de corriente y tiempo.



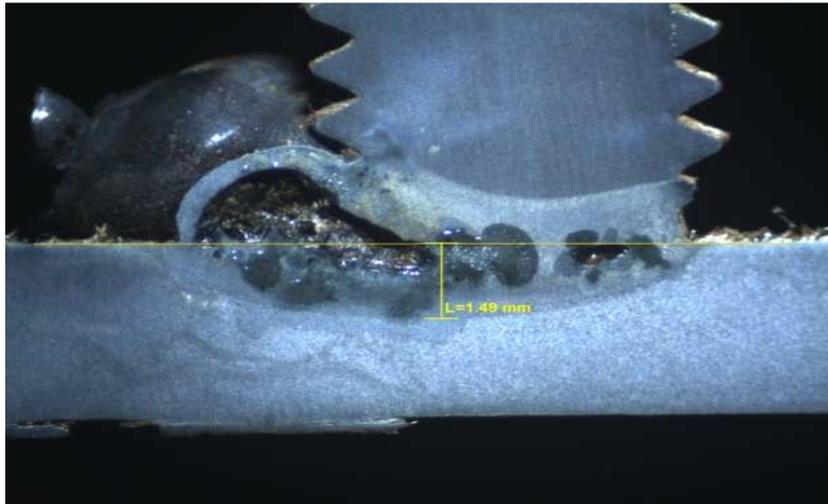
**Fotografía 4.4** Macrografía de acero al carbono, muestra 5

En las fotografías 4.5 se visualiza la muestra 6. El tiempo ha sido nuevamente el único parámetro que ha variado en forma ascendente, produciendo una mayor penetración sin embargo existen defectos como porosidades y mordeduras que son causadas por una alta intensidad de corriente.



**Fotografía 4.5** Macrografía de acero al carbono, muestra 6

La figura 4.6 se puede divisar la muestra 7, en esta probeta se ha aumentado la intensidad, disminuido el tiempo y las demás variables se han mantenido constante. Como consecuencia de la disminución de tiempo la penetración ha disminuido. Las porosidades, mordeduras han aumentado debido al aumento de la intensidad. Provocando mala apariencia en la soldadura, afectando significativamente a las propiedades mecánicas de la soldadura y haciéndola inaceptable a esta probeta.



**Fotografía 4.6** Macrografía de acero al carbono, muestra 7

En las muestras números 1, 8, 9, A y B no fue necesario una macrografía debido a que tenían una excesiva cantidad de burbujas lo que hace de la soldadura inaceptable.

A continuación en las fotografías 4.7 hasta la 4.10 se tienen las muestras de las probetas de acero inoxidable, las cuales son aceptables ya que muestran poca presencia de burbujas (en el caso de la fotografía 4.7 y 4.10 nula), además la penetración es aceptable lo que indica el funcionamiento correcto de la pistola.

Una vez realizadas las macrografías en la tabla 4.3 se indican con los números de muestras y le penetración obtenida.

Para acero al carbono:

Muestra	d [mm]	A nominal [A]	Tiempo [s]
1	-	250	0.15
2	1.75	250	0.2
3	1.97	250	0.3
4	1.47	275	0.15
5	1.91	275	0.2
6	1.95	275	0.3
7	1.49	300	0.15
8	-	300	0.2
9	-	300	0.3
A	-	300	0.3
B	-	300	0.3

**Tabla 4.3** Amperajes y tiempos para acero al carbono

En la tabla 4.3 se puede distinguir un patrón que indica que el amperaje y el tiempo de arco tienen relación directa con la penetración obtenida.

En la tabla 4.4 se tiene las muestras de acero inoxidable:

Muestra	d (mm)	A nominal (A)	Tiempo (s)
1	1.07	300	0.3
2	1.17	300	0.2
3	1.02	250	0.3
4	1.01	250	0.2

**Tabla 4.4** Amperajes y tiempos para acero inoxidable

De igual manera en la tabla 4.4 se puede distinguir un patrón que indica que el amperaje y el tiempo de arco tienen relación directa con la penetración obtenida.

## 4.2 ANALISIS DE RESULTADOS

- En la soldadura de acero al carbono es apreciable que al aumentar el tiempo y amperaje de la soldadura se tiene un aumento de penetración, debido a que se entrega mayor calor en un mayor tiempo.
- Para la soldadura de acero inoxidable el tiempo de soldadura y el amperaje tienen relación con la calidad de la soldadura, pero también es necesario un buen manejo de la pistola para no obtener defectos significativos como es el caso de la probeta de acero inox-m4, en la que se puede observar claramente, que el soldador no tiene a la pistola perpendicular a la placa, esto se da debido a que en el momento de la creación del arco eléctrico se crea un charco de metal, que si el soldador no tiene la habilidad necesaria para manipular la pistola, hará que el esparrago se deslice permitiendo que el material se amontone en un solo lado sin distribirse uniformemente.
- En la soldadura de acero al carbono es visible una propensa formación de burbujas en el charco de soldadura, las cuales se producen debido al movimiento de la pistola al momento de formación y mantenimiento del arco de soldadura. El arco eléctrico en la soldadura de acero al carbono es menos estable en comparación con el arco de acero inoxidable.
- Es importante destacar la limpieza tanto de la placa como del esparrago para obtener una soldadura con menos impurezas y falta de uniformidad, las cuales forman burbujas de distintos tamaños en la zona de fusión y reducen la zona efectiva de la unión de la soldadura.
- La soldadura de acero inoxidable es aceptable ya que en las macrográficas es casi nulo la formación de burbujas.
- Es necesario caer en cuenta que la habilidad del soldador para no mover la pistola en la soldadura, es uno de las variables que mas efecto tiene en la calidad de la soldadura.
- En las pruebas A y B debido al exceso de burbujas se concluye que es necesario la preparación del esparrago antes de la realización de soldadura.
- El circuito de control cumplió su trabajo a la perfección por lo que no es necesario hacer ningún cambio en éste

## CAPITULO V.

### COSTOS Y SEGURIDAD.

Una vez diseñado y construido el sistema para la soldadura de espárragos, es necesario realizar un estudio económico con el objetivo de estimar los costos totales del mismo.

#### 5.1 COSTOS DIRECTOS

Los costos directos están relacionados con los materiales y la mano de obra que se requiere para la fabricación del equipo.

A continuación se detalla todos los costos directos involucrados en la fabricación de este proyecto:

##### 5.1.2 MATERIALES UTILIZADOS EN VIRUTAJE

En la tabla 5.1 se detallan los costos de materiales utilizados en la construcción de los elementos mediante virutaje.

<b>Materiales</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Elemento</b>	<b>Precio unit. (USD)</b>	<b>Precio total (USD)</b>
1	Acero inoxidable	Triangulo	26	26
2	Acero estructural	Guía	8	16
1	Acero estructural	Eje parte 2	3	3
1	Acero estructural galvanizado	Tope posterior	2	2
1	Acero inoxidable martensitico	Eje parte 1	2,8	2,8
1	Acero estructural	Eje parte 3	3,9	3,9
1	Teflón	Sujetador eje 3	2	2
1	Acero inoxidable martensitico	Porta esparrago 8mm	6,8	6,8
1	Acero inoxidable martensitico	Porta esparrago 6mm	3,8	3,8

<b>Materiales</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Elemento</b>	<b>Precio unit. (USD)</b>	<b>Precio total (USD)</b>
1	Acero inoxidable martensitico	Porta esparrago 3mm	3,5	3,5
1	Aluminio	Tapa delantera	8,5	8,5
1	Aluminio	Tapa poste rior	5,2	5,2
1	Acero inoxidable martensitico	Porta esparrago 10mm	7,2	7,2
1	Acero inoxidable martensitico	Porta esparrago 12mm	7,2	7,2
			<b>TOTAL</b>	97,9

**Tabla 5.1** Costos de materiales utilizados

### 5.1.3 MATERIALES ELÉCTRICOS

En la tabla 5.2, se puede observar los costos de los materiales utilizados en el circuito eléctrico.

<b>Costos de materiales eléctricos</b>					
<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Costo total sin IVA</b>	<b>IVA</b>	<b>Costo total</b>
Solenoides	1	150	150	18	168,00
Temporizador	3	42,07	126,21	15,1452	141,36
Contactador 300 <sup>a</sup>	1	284	284	34,08	318,08
Pulsador	1	1,7	1,7	0,204	1,90
Relé 12V	2	5,36	10,72	1,2864	12,01
Cable superflex 2/0	2metros	0	0	0	0,00
Caja de conexión	1	20,68	20,68	2,4816	23,16
Breaker	3	0	0	0	0,00
				<b>TOTAL</b>	664,51

**Tabla 5.2** Materiales Eléctricos

### 5.1.4 COSTOS DE FUNDICIÓN

Seguidamente se detallan valores involucrados en la fundición de la carcasa de la pistola.

Costos de Fundición	
Elemento	Costo (USD)
Molde en madera	50
Carcasa izquierda	50
Carcasa Derecha	50
<b>Total</b>	150

**Tabla 5.3** Costos de Fundición

Una vez que se han desplegado los costos de materiales utilizados en la construcción, inmediatamente se especificarán los costos de mano de obra.

#### 5.1.5 MANO DE OBRA DE VIRUTAJE

En la tabla 5.4, se encuentran los costos de mano de obra de virutaje.

Mano de obra					
Nº	Descripción	Tiempo (m)	Tiempo (h)	Costo HH (USD/h)	Precio total (USD)
1	Triangulo	150	2,50	14	35,00
2	Guía	30	0,50	14	7,00
3	Eje parte 2	70	1,17	14	16,33
4	Tope posterior	20	0,33	14	4,67
5	Eje parte 1	75	1,25	14	17,50
6	Eje parte 3	20	0,33	14	4,67
9	Sujetador eje 3	102	1,70	14	23,80
10	Porta esparrago 8mm	140	2,33	14	32,67
11	Porta esparrago 6mm	140	2,33	14	32,67
12	Porta esparrago 3mm	140	2,33	14	32,67
13	Tapa delantera	60	1,00	14	14,00
14	Tapa posterior	20	0,33	14	4,67
16	Porta esparrago 10mm	140	2,33	14	32,67
17	Porta esparrago 12mm	140	2,33	14	32,67
<b>TOTAL</b>					290,97

**Tabla 5.4** Costos de Mano de Obra por Virutaje

### 5.1.6 MANO DE OBRA DEL CIRCUITO ELÉCTRICO

Costo(usd/h)	Tiempo (h)	Total (usd)
12	8	96

**Tabla 5.5** Costos de mano de obra del circuito eléctrico

### 5.1.7 COSTOS TOTALES DIRECTOS

En la tabla 5.6, se muestra el valor total de los costos directos.

<b>Costos Directos Totales</b>	
<b>Descripción</b>	
Materiales de virutaje	97,90
Fundición	150,00
Elementos eléctricos	664,51
Mano de obra virutaje	290,97
Mano de obra circuito	96,00
<b>TOTAL</b>	<b>1299,37</b>

**Tabla 5.6** Costos directos totales

## 5.2 COSTOS INDIRECTOS

Como costos indirectos se toma en cuenta aquellos costos asociados al diseño y supervisión en la construcción de la pistola soldadora de espárragos

En la tabla 5.7, se realiza un detalle de costos indirectos

<b>Costos Indirectos</b>				
<b>N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Horas Hombre</b>	<b>Valor Hora</b>	<b>Valor (USD)</b>
1	Ingenieriles (diseño y supervisión)	250	2	500
2	Imprevistos	----	----	100
3	Varios (transporte, otros)	----	----	100
<b>Total costos indirectos</b>		700		

**Tabla 5.7** Costos Indirectos

### 5.3 COSTOS TOTALES

Los Costos Totales se determinan, mediante la suma de los Costos Directos más los Costos Indirectos. Estos se detallan a continuación en la tabla 5.8

<b>Costos Totales</b>		
<b>N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor (USD)</b>
1	Costos Directos	1299,37
2	Costos Indirectos	700
<b>Costos Totales</b>		1999,37

**Tabla 5.8** Costos totales del proyecto

Estos costos totales sirven para obtener la depreciación del equipo (en caso de un uso permanente de la máquina para trabajo de producción) y con este valor obtener el valor costo/hora de la utilización de la soldadora de espárragos. Este cálculo permitirá cuantificar los trabajos realizados con este equipo en el Laboratorio de Soldadura.

## **5.4 NORMAS DE SEGURIDAD PARA EL USO DE LA PISTOLA DE SOLDAR ESPÁRRAGOS**

Es importante tener en cuenta las medidas que a continuación se detallan, para seguridad del operador que va a manipular este equipo:

### **5.4.1 SEGURIDAD ELÉCTRICA**

El circuito eléctrico no debe ser desmontado por ninguna persona que no esté capacitada o calificada, y no deberá hacerse mientras esté conectado al suministro eléctrico de la red.

No utilice fluidos para limpiar los componentes eléctricos ya que estos pueden penetrar en el sistema eléctrico.

### **5.4.2 SEGURIDAD PERSONAL**

El equipo debe ser usado en un lugar con ventilación adecuada, debido a que los gases o humos generados pueden provocar daño a la salud.

Deberán llevarse ropa adecuada, no usar indumentaria confeccionada o manchada con materiales combustibles, debido a que las salpicaduras del metal caliente pueden causar quemaduras o causar incendios.

Se debe contar con un extintor de incendios en un lugar cercano al sitio de funcionamiento de la máquina y saber cómo usarlo.

Tener cuidado con los cables, no pisarlos y colocarlos de tal manera que el operador no se enrede con estos.

Los operadores deben llevar protección auditiva, ocular y corporal adecuada, debido a que los rayos del arco pueden causar daño a la vista y a la piel, además el ruido puede causar deterioro auditivo.

No usar lentes de contacto ni zapatos de lona o caucho en el lugar de trabajo del equipo.

Desconectar la alimentación de la red eléctrica antes de conectar los cables de trabajo.

#### **5.4.3 SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS**

Durante la soldadura se desprenden pequeñas partículas de metal sumamente caliente. Asegúrese de que en la cercanía no exista material combustible de ningún tipo.

## CAPITULO VI.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 6.1 CONCLUSIONES

- ❖ Después de haber realizado todos los cálculos y construcción, la pistola soldadora de espárragos conjuntamente con el circuito de control, resultó una máquina eficaz, capaz de soldar espárragos satisfactoriamente. Teniendo la versatilidad de variación de los parámetros básicos de la soldadura.
- ❖ Esta pistola es semiautomática, ya que requiere ser manejada por un operador.
- ❖ La calidad de soldadura realizada se ve directamente afectada por el tiempo del arco eléctrico así como de la intensidad de corriente utilizada.
- ❖ Otro factor muy importante que se debe tomar en cuenta para la calidad de la soldadura es la práctica del soldador ya que depende de si la pistola no se mueve al momento de la soldadura, así como la preparación del espárrago (terminado en punta).
- ❖ Después de haber realizado las macrografías, se concluye que es más factible la soldadura de acero inoxidable debido a que su composición hace que el arco de soldadura sea más estable.
- ❖ Para un proyecto de diseño y construcción es importante conocer acerca de diseño de los elementos, así como también la disponibilidad de materiales y elementos en el mercado. Para una construcción más barata y de mejor calidad.
- ❖ El costo final de proyecto es relativamente alto, considerando que solo se construyó un ejemplar de esta pistola.
- ❖ La pistola es totalmente manejable y adaptable para dar mejor facilidad de uso al operador, esta puede ser transportada sin ninguna dificultad.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda realizar una extensión de este proyecto para la soldadura de los demás diámetros de espárragos y más variación de parámetros de soldadura.
- ❖ Se recomienda incluir este proceso de soldadura a los ya existentes en el laboratorio de soldadura, ya que su uso en el parque industrial va en aumento y sería bueno que los estudiantes tengan conocimiento de esta soldadura.
- ❖ Para el uso de la máquina se recomienda utilizar guantes de soldadura, y leer el procedimiento de conexión y encendido de la máquina.
- ❖ Se recomienda el uso de la férula cerámica ya que ésta es imprescindible para el mejor y buen acabado de la soldadura.
- ❖ Es recomendable revisar los cables cada cierto tiempo, para que no exista un recalentamiento de los mismos.
- ❖ La batería utilizada en este proyecto, puede ser reemplazada por una fuente de poder de corriente continua de 12V
- ❖ El operador debe ser instruido previamente en la utilización de esta maquinaria.
- ❖ Para obtener una soldadura de mejor calidad sin que presenten mayores inclusiones, actualmente se utiliza el argón como gas de protección.

## BIBLIOGRAFIA

1. CORDOVA, Claudio, (2006), "*Ejercicios de Física II*", ed. EPN y RESNICK, Quito.
2. BARRAGÁN, Homero,(2006), "*Principios y control de soldadura*", ed. EPN, Quito.
3. BARRAGÁN, Homero,(2006), "*Tecnología de soldadura*", ed. EPN, Quito.
4. HORWITZ, Henry,(2003), "*Soldadura aplicaciones y práctica*", ed. Alfaomega, Mexico.
5. HOULDCROFT, P, (1990), "*Tecnología de los procesos de soldadura*"; Ed. CEAC, España.
6. JUTZ, Hermann, (1984), "*Tablas para la industria metalúrgica*", ed. EDIBOSCO, Cuenca.
7. SEFERIAN, D, (1985), "*Las soldaduras*", Ed. Urmo, S.a. De Ediciones, Bilbao.
8. SHIGLEY Joseph, (2004), "*Manual de Diseño Mecánico*", edición 3º, ed. Mc GRAW, México.
9. VELASTEGUI, Tito, (2008), "*Dibujo mecánico folleto guía*", ed. EPN, Quito.

**ANEXO A**

**HOJAS DE PROCESOS**

**ANEXO B**

**PLANOS**

## ANEXO C

### FOTOGRAFIAS



Fotografías del proceso de construcción de los elementos.



Fotografías de la carcasa construida por fundición.



Fotografías en las pruebas de funcionamiento del sistema.



Fotografías de probetas realizadas.