



**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA.**

**LA ELECTRÓNICA APLICADA EN EL PROCESO DE SOLDADURA POR  
RESISTENCIA.**

**TESINA PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN ELECTRÓNICA POR:**

**DAVID JUÁREZ MUÑOZ**

**ASESOR:**

**M.C. RICARDO ÁLVAREZ GONZÁLEZ**

**Facultad de Ciencias de la Electrónica**  
**MARZO 2016**

# CONTENIDO

<b>INDICE</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>5</b>

## **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN A LA SOLDADURA POR RESISTENCIA**

1.1	CONCEPTO DE SOLDADURA POR RESISTENCIA	7
1.2	REALIZACIÓN DE LA SOLDADURA POR RESISTENCIA	7
1.3	TIPOS DE SOLDADURAS POR RESISTENCIA	8
1.3.1	SOLDADURA POR PUNTOS	9
1.3.2	SOLDADURA ENGARGOLADA POR RESISTENCIA (COSTURA)	11
1.3.3	SOLDADURA POR PROYECCIÓN (PROTUBERANCIA)	13
1.3.4	SOLDADURA INSTANTANEA	14
1.3.5	SOLDADURA A TOPE	15
1.3.6	SOLDADURA POR CHISPORROTEO	16
1.3.7	SOLDADURA POR RESISTENCIA DE ALTA FRECUENCIA	17

## **CAPITULO II: FACTORES ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE SOLDADURA POR RESISTENCIA**

2.1	FACTORES IMPORTANTES PARA REALIZAR UNA SOLDADURA POR RESISTENCIA	20
2.2	CORRIENTE DE SOLDADURA ADECUADA	20
2.2.1	DURACIÓN DEL TIEMPO DE LA CORRIENTE DE SOLDADURA	21
2.3	OBTENCIÓN DE LA FUERZA EN LOS ELECTRODOS	21
2.4	SECUENCIA DE SOLDADURA	22
2.4.1	TIEMPO DE PRESIÓN	23
2.4.2	TIEMPO DE SOLDADURA	23
2.4.3	TIEMPO DE SOSTENIDO	23
2.4.4	TIEMPO DE PAUSA	23
2.4.5	FUERZA DE LOS ELECTRODOS	23
2.4.6	VÁLVULA SOLENOIDE	24
2.4.7	ENFRIAMIENTO	24
2.5	FACTORES QUE AFECTAN LA SOLDADURA POR RESISTENCIA	25
2.5.1	FACTORES ELÉCTRICOS	25

2.5.2	FACTORES MECÁNICOS	26
2.6	CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA POR RESISTENCIA	26
2.6.1	EQUIPOS PORTÁTILES	26
2.6.2	EQUIPOS DE PEDESTAL	29
2.6.3	ELEMENTOS BÁSICOS DE UNA MÁQUINA DE SOLDADURA POR RESISTENCIA	30
2.6.4	SECUENCIA DE SOLDEO DE UNA MÁQUINA DE SOLDADURA POR RESISTENCIA	33
2.7	ELECTRODOS	34
2.7.1	CICLOS DE VIDA DE UN ELECTRODO	35
2.7.2	ALINEACIÓN DE LOS ELECTRODOS	35
2.8	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL A SOLDAR	37
2.8.1	CALIDAD DE LA SOLDADURA POR RESISTENCIA	38
2.9	CAUSAS DE LOS DEFECTOS EN LA SOLDADURA POR RESISTENCIA	38
2.9.1	SOLDADURA DE FORMA IRREGULAR	39
2.10	CUIDADOS A TENER DURANTE EL DESARROLLO DEL PROCESO DE SOLDADURA POR RESISTENCIA	39

### **CAPITULO III: CONTROL DE SOLDADURA POR RESISTENCIA**

3.1	CONTROLADOR DE SOLDADURA	42
3.1.1	CONEXIÓN DE UN CONTROL DE SOLDADURA POR RESISTENCIA	42
3.2	CONTROL DE CORRIENTE DE SOLDADURA	43
3.2.1	CONTROL DE POTENCIA EN ANGULO DE FASE	45
3.2.2	CONTROL DE POTENCIA EN COMPENSACIÓN DE VOLTAJE	46
3.2.3	CONTROL DE POTENCIA EN MODO CORRIENTE CONSTANTE	47
3.2.4	CONTROL DE TIEMPO DE SOLDADURA	48
3.3	TRANSFORMADORES	48
3.3.1	TIPOS DE TRANSFORMADORES	49
3.3.2	TRANSFORMADORES CON TERMINALES SECUNDARIOS	51
3.4	EMPALMES Y UNIONES	51
3.5	PROGRAMAS DE SOLDADURA POR RESISTENCIA	52
3.5.1	INSTRUCCIONES BÁSICAS DE UN PROGRAMA DE SOLDADURA POR RESISTENCIA	56
3.6	SISTEMA DE MEDIA FRECUENCIA	57
3.6.1	PRINCIPIOS DE OPERACIÓN	58
3.6.2	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE MEDIA FRECUENCIA	66

### **CAPITULO IV: SISTEMA NEUMÁTICO Y DE ENFRIAMIENTO DE LA SOLDADURA POR RESISTENCIA**

4.1	CONTROL DE FUERZA DE SOLDADURA	68
4.1.1	ACTUADORES NEUMÁTICOS	68

4.1.2	ELECTROVALVULAS	69
4.1.3	REGULACIÓN DE VELOCIDAD DE LOS ACTUADORES NEUMÁTICOS	70
4.1.4	FILTRO DE AIRE	71
4.1.5	LUBRICADOR	72
4.1.6	SENSOR MAGNÉTICO	74
4.2	SISTEMAS NEUMÁTICOS	75
4.3	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO Y REFRIGERACIÓN	78
4.3.1	REFRIGERACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE POTENCIA	79
4.3.2	SENSOR DE FLUJO DE AGUA	80
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>82</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>83</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>85</b>

## **OBJETIVO GENERAL**

Manifiestar la importancia que tienen los diferentes componentes electrónicos dentro del proceso de soldadura por resistencia.

## **OBJETIVO ESPECIFICO**

Generar un documento el cual sirva de apoyo a los recién egresados de la licenciatura en electrónica para su incursión en las industrias que desarrollen el proceso de soldadura por resistencia.

# **JUSTIFICACIÓN**

El propósito de realizar esta investigación es con el fin de poder beneficiar de manera más práctica y objetiva a todas aquellas personas interesadas en conocer como se aplica la Electrónica dentro de este proceso, proporcionando datos adquiridos a través de la experiencia profesional dentro del mismo.

Investigar más a detalle como interviene la Electrónica y cuales son principales aportaciones para el desarrollo y ejecución de este proceso.

También poder aportar una herramienta de apoyo diferente a las ya existentes para todas aquellas personas las cuales se encuentren interesadas en conocer como interviene y cuáles son las principales funciones de la Electrónica dentro de este proceso, encontrando en esta investigación una ayuda para conocer más a detalle su desarrollo dentro del mismo y de facilitarles una recopilación de datos que conjuntamente con las recomendaciones prácticas y personales, permitan una elección apropiada de los elementos necesarios para la realización de un proceso de soldadura por resistencia adecuado.

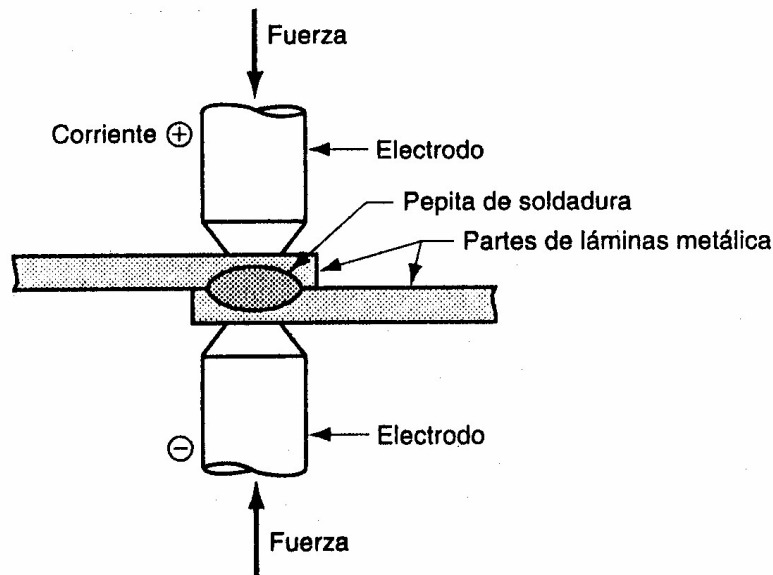
# **CAPITULO 1**

## **INTRODUCCIÓN A LA SOLDADURA POR RESISTENCIA**

## **1.1 CONCEPTO DE SOLDADURA POR RESISTENCIA**

LA SOLDADURA POR RESISTENCIA es un proceso que utiliza como fuente de calentamiento a la electricidad, es uno de los muchos métodos de unir dos o más piezas de metal. El principio del funcionamiento de este proceso consiste en hacer pasar una corriente eléctrica de gran intensidad a través de los metales que se van a unir.

La soldadura por resistencia es un procedimiento de soldadura AUTOGENA, es decir, que para realizar la unión de las piezas no se requiere de un material de aporte y que utiliza como fuente de calentamiento la ELECTRICIDAD.



**Figura 1.1:** Soldadura por resistencia mostrando los componentes en la soldadura de Puntos, el proceso predominante en el grupo de soldadura por resistencia.

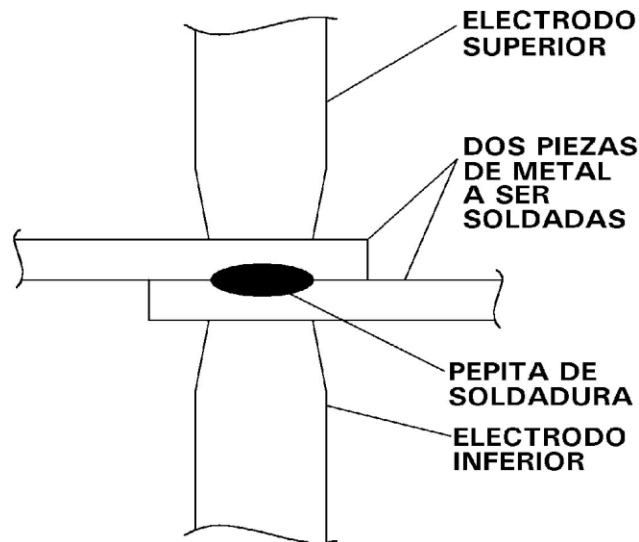
## **1.2 REALIZACIÓN DE LA SOLDADURA POR RESISTENCIA**

La soldadura por resistencia, se realiza mediante un grupo de procedimientos en los cuales se emplea la resistencia propia de los materiales a unir al paso de la corriente eléctrica por medio de electrodos para generar el calor necesario y así lograr la unión de estos materiales.

Las dos piezas de metal que van a unirse son presionadas juntas por los electrodos de la máquina soldadora de manera que hagan un buen contacto eléctrico. Uno o los dos electrodos (superior e inferior) son parte de algún mecanismo que permite moverlos hacia el material.

La corriente eléctrica pasa por los electrodos, debido a la resistencia del material a unir, se logra el calentamiento y con la aplicación de presión sobre las piezas se genera un punto de soldadura. El metal fundido de las dos piezas fluye y las piezas se unen, entonces la

corriente se apaga y el metal fundido se solidifica, formando así una conexión o unión metálica sólida entre las dos piezas.



**Figura 1.2:** Como se genera una soldadura por resistencia.

El término “Soldadura de Resistencia” viene del hecho de que es la propiedad eléctrica de la resistencia del metal a ser soldado la que causa el calor que se generará cuando la corriente fluye a través de él. Se utiliza la resistencia eléctrica de los mismos materiales para generar calor haciendo pasar corriente eléctrica por medio de los electrodos que simultáneamente aplican una fuerza.

Precisamente porque los electrodos concentran la corriente de soldadura entre los materiales, es que el área de contacto ELECTRODOS-MATERIAL, resulta ser un factor fundamental para el proceso de soldadura por resistencia. El espesor y tipo de materiales no necesariamente deben ser iguales, aunque hay ciertas limitaciones en tales diferencias para lograr la soldadura.

Para la dosificación de la corriente aplicada y el tiempo empleado en la soldadura, así como la presión utilizada y aplicada, se necesitan máquinas equipadas adecuadamente para obtener una unión de calidad.

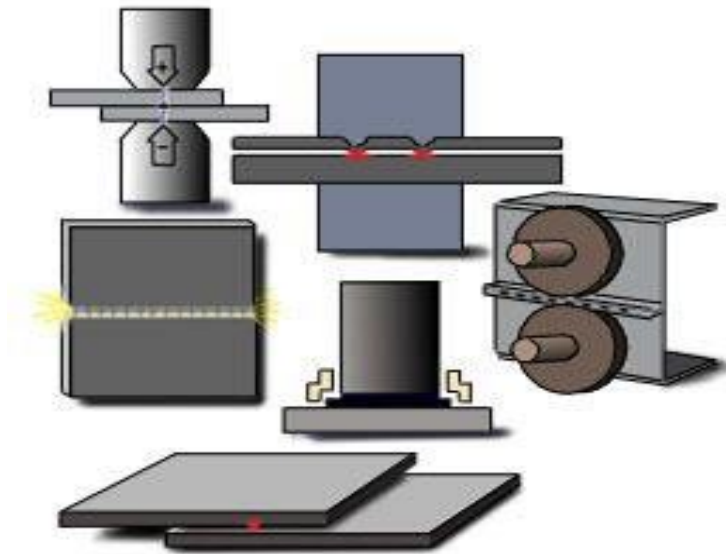
El equipo de Soldadura por Resistencia se clasifica atendiendo a su funcionamiento eléctrico, del tipo de energía directa y del tipo de energía almacenada. Las máquinas monofásicas y trifásicas de energía directa son las más utilizadas para este proceso.

### **1.3 TIPOS DE SOLDADURAS POR RESISTENCIA**

En particular el proceso de soldadura por resistencia tiene algunas variantes, las cuales se describen a continuación:

- Soldadura por Puntos

- Soldadura Engargolada por Resistencia (Costura)
- Soldadura por Proyección (Protuberancia)
- Soldadura Instantánea
- Soldadura a Tope
- Soldadura por Chisporroteo
- Soldadura por Resistencia de Alta Frecuencia

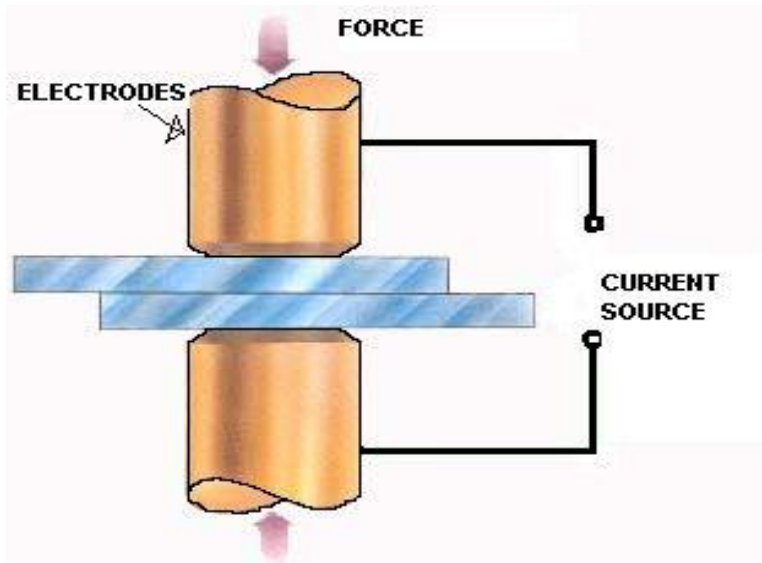


**Figura 1.3:** Diferentes tipos de soldaduras por resistencia.

### **1.3.1 SOLDADURA POR PUNTOS**

La soldadura por puntos es el proceso de soldadura por resistencia más usado para la unión de piezas formadas con chapas y láminas de espesores pequeños o medianos. En su aplicación más simple, la soldadura por puntos consiste simplemente en prensar dos o más piezas de metal laminado entre dos electrodos de cobre o de una aleación de cobre, y pasar una corriente eléctrica durante cierto tiempo de suficiente intensidad por las piezas metálicas (en un punto específico) para dar lugar a su fusión en la zona localizada por los electrodos y así realizar la unión de las mismas.

El principal uso de la soldadura por puntos es para unir láminas traslapadas cuando estas no confinan gases o líquidos a alta presión. La fabricación de piezas con este método es muy rápido. Generalmente los espesores del material alcanza hasta 3mm, pero es posible soldar hasta 6mm o un poco más. Actualmente se fabrican muchos productos aplicando soldadura por puntos tales como automóviles, muebles, herramientas, utensilios de cocina, etc.



**Figura 1.4:** Soldadura por puntos de resistencia.

Un punto de soldadura se produce mediante una corriente eléctrica (que medimos en amperios), la cual circula desde un electrodo al otro atravesando las laminas a ser soldadas encontrando a su paso una resistencia, la cual disipa una energía que se convierte en calor.

El calor producido es directamente proporcional al valor de la resistencia, la energía calorífica aplicada a la operación de soldadura depende del flujo de corriente, la resistencia del circuito y el intervalo del tiempo en que se aplica la corriente. Esto se expresa mediante la ecuación 1.1:

$$H = R t I^2 \dots\dots\dots(1.1)$$

Donde:

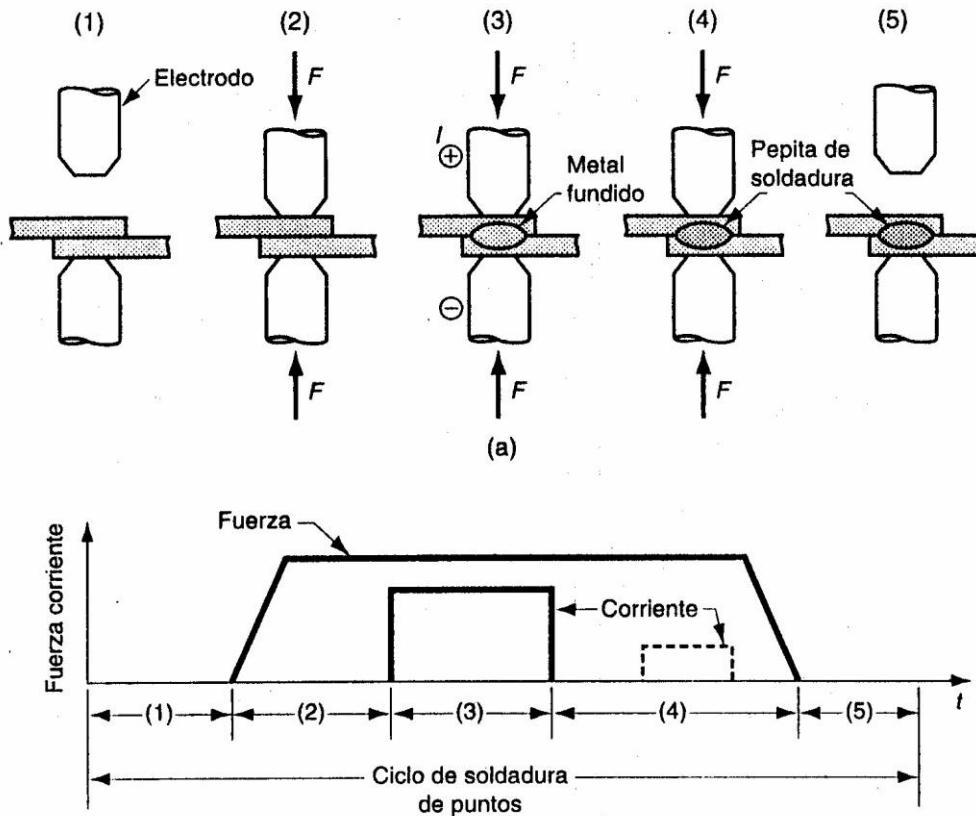
$H$  = calor generado, en Watts.

$I$  = corriente, en Amperios;

$R$  = resistencia eléctrica, en Ohms ( $\Omega$ ).

$t$  = tiempo, en segundos.

El tamaño y la forma del punto de soldadura se determina por medio de la punta de electrodo, la forma de electrodo más común es redonda; pero también se usan formas hexagonales, cuadradas y otras. La pepita de soldadura resultante tiene normalmente un diámetro de 5 a 10 mm, con una zona afectada por el calor que se extiende un poco más allá de la pepita dentro de los metales base. Si la soldadura se hace correctamente, su resistencia es comparable con la del metal circundante. El ciclo en una operación de soldadura de puntos se muestra la figura 1.5.



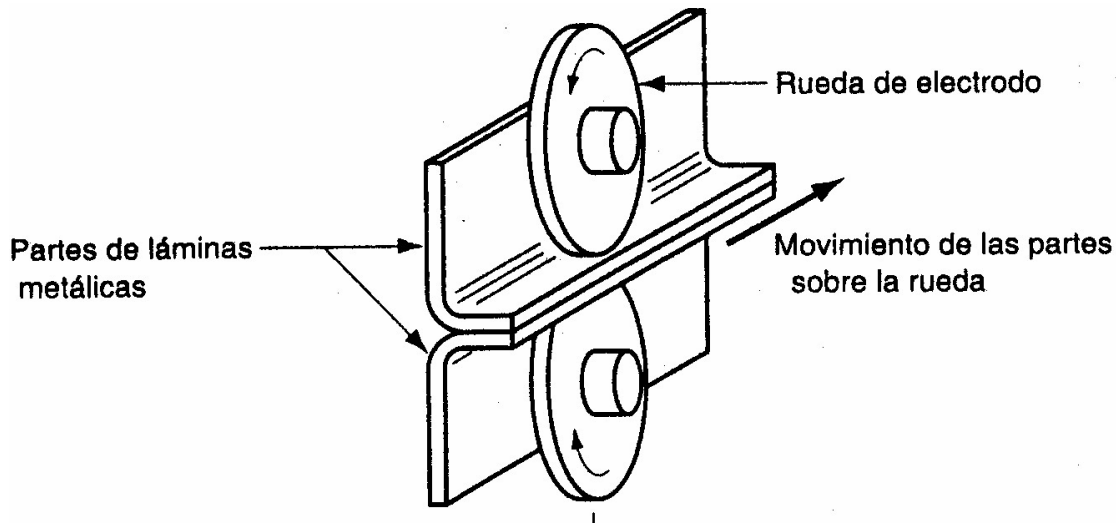
**Figura 1.5:** (a) Pasos en un ciclo de soldadura de puntos, y (b) gráfica de la fuerza de presión y la corriente durante el Ciclo.

Como se observa en la figura 1.5, la secuencia de soldadura por puntos es: (1) partes insertadas entre los electrodos abiertos, (2) los electrodos se cierran y se aplica una fuerza, (3) tiempo de soldadura (se activa la corriente), (4) se desactiva la corriente, pero se mantiene o se aumenta la fuerza (en ocasiones se aumenta una corriente reducida cerca del final de este paso para liberar la tensión en la región de la soldadura) y (5) se abren los electrodos y se remueve el ensamble soldado.

### **1.3.2 SOLDADURA ENGARGOLADA POR RESISTENCIA (COSTURA).**

Cuando se requiere una soldadura hermética, un cordón de soldadura, se podría pensar en dar puntos uno junto a otro, "cosiendo" las piezas. La soldadura por costura consiste en el enlace continuo de dos piezas de lámina traslapadas.

La unión se produce por el calentamiento obtenido por la resistencia al paso de la corriente y la presión constante que se ejerce por dos electrodos circulares. Este proceso de soldadura es continuo, lo que se hace es sustituir los electrodos por dos discos-electrodo que al girar, van efectuando un cordón de soldadura.



**Figura 1.6:** Soldadura engargolada por resistencia.

El proceso produce uniones herméticas y sus aplicaciones industriales incluyen la producción de tanques de gasolina, silenciadores de automóviles y otros recipientes fabricados con láminas de metal. Técnicamente la soldadura engargolada por resistencia (RSEW *resistance seam welding*), es igual que la soldadura de puntos, excepto que los electrodos son en forma de ruedas.

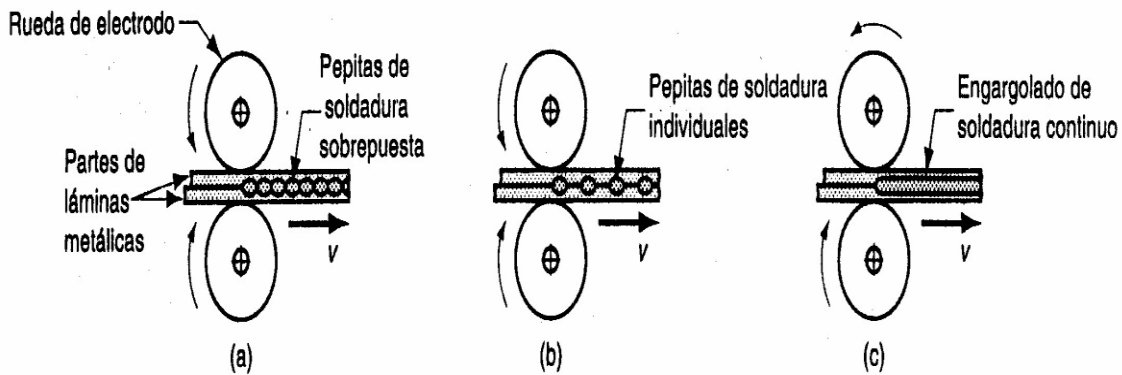
Dado que la operación generalmente se realiza en forma continua, y no separada, las formas engargoladas deben estar a lo largo de una línea recta o uniformemente curva. Las esquinas agudas e irregularidades similares son difíciles de manejar. Así mismo, la deformación de las partes es el factor más significativo en la soldadura engargolada por resistencia, por esta causa se requieren soportes bien diseñados para sostener el trabajo en la posición correcta y así reducir la distorsión.

El espaciamiento entre las pepitas de soldadura en la RSEW depende del movimiento de las ruedas de electrodos relacionado con la aplicación de la corriente de soldadura. En el método usual de operación, denominado **soldadura de movimiento continuo**, la rueda gira en forma continua a una velocidad constante y la corriente se activa a intervalos de tiempo que coinciden con el espaciamiento deseado entre los puntos de soldadura a lo largo del engargolado.

Normalmente, la frecuencia de las descargas de corriente se establece para que se produzcan puntos de soldadura sobrepuestos. Pero si se reduce bastante la frecuencia, habrá espacios entre los puntos de soldadura y este método se denomina **soldadura de puntos con rodillo**. En otra variable, la corriente de soldadura permanece en un nivel constante (en lugar de activarse y desactivarse), por lo que se produce un engargolado de soldadura verdaderamente continuo. Estas variaciones se muestran en la figura 1.7.

Una alternativa para la soldadura del movimiento continuo es la **soldadura de movimiento intermitente**, en la cual la rueda de electrodos se detiene periódicamente para hacer la soldadura de puntos. La cantidad de rotación de rueda entre las detenciones determina la

distancia entre los puntos de soldadura a lo largo del engargolado, produciendo patrones similares a los de las partes (a) y (b) de la figura 1.7.

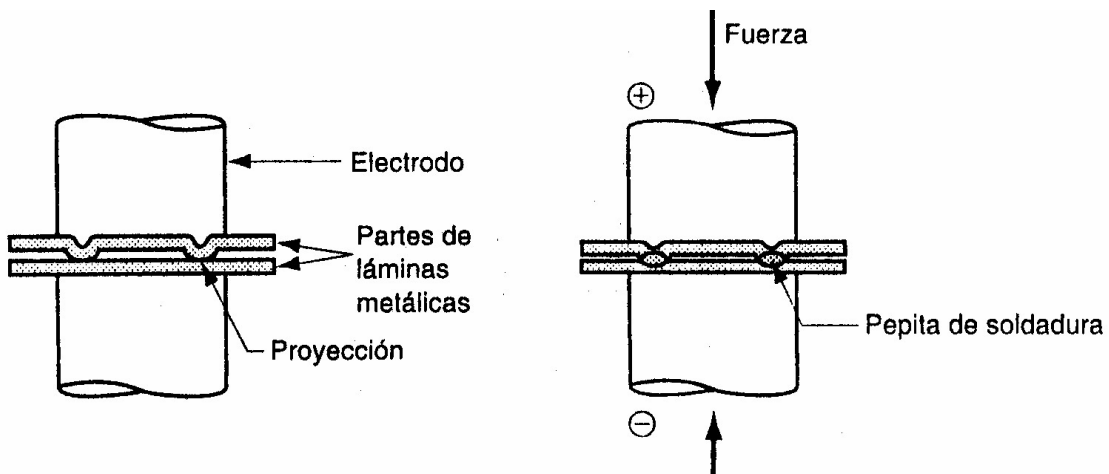


**Figura 1.7:** Diferentes tipos de engargolados producidos por ruedas de electrodos: (a) soldadura de engargolado por resistencia convencional, en la cual se producen puntos sobrepuestos, (b) soldadura de puntos en rollo y (c) soldadura por resistencia continua.

### 1.3.3 SOLDADURA POR PROYECCIÓN (PROTUBERANCIA)

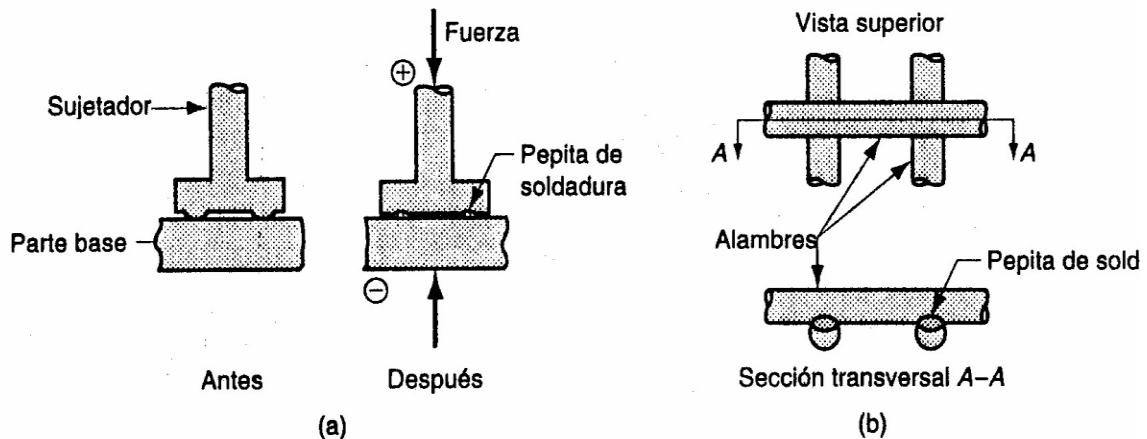
La Soldadura por Proyección (RPW *resistance projection welding*), es un proceso de soldadura por resistencia en el cual ocurre la coalescencia en uno o más puntos de contacto relativamente pequeños en las partes. Estos puntos de contacto se determinan mediante el diseño de las piezas que se van a unir y pueden consistir en proyecciones, grabados o intersecciones localizadas en las mismas.

Un caso normal en el cual se sueldan dos partes de chapas de metal se describe en la figura 1.8. La parte superior se ha fabricado con dos puntos grabados para entrar en contacto con la otra parte al principio del proceso. Puede argumentarse que la operación de grabado aumenta el costo de la pieza, pero este incremento queda más que compensado por los ahorros en el costo de la soldadura.



**Figura 1.8:** soldadura por proyección.

En la soldadura por proyección, la canalización o localización del paso de corriente se realiza mediante protuberancias o proyecciones practicadas en uno de los materiales a soldar. Las protuberancias pueden ser de diversas formas y en algunos casos las propias piezas presentan protuberancias. Una ventaja importante de la soldadura por proyección es que se pueden soldar varios puntos simultáneamente sin tener que recurrir a máquinas multipunto.



**Figura 1.9:** Dos variables de soldadura por proyección: (a) soldadura de un sujetador maquinado o formado sobre una parte de chapa de metal y (b) soldadura de alambre transversal.

La figura 1.9 muestra dos variables de la soldadura por proyección. En una, es posible unir permanentemente sujetadores con proyecciones maquinadas o formadas en láminas o placas mediante soldadura por resistencia (RW), lo que facilita las operaciones de ensamble subsecuentes. Otra variable, llamada **soldadura de alambre transversal**, se usa para fabricar productos de alambre soldados, tales como alambrados, carros para supermercado y parrillas de estufas. En este proceso, las superficies de los alambres redondos que hacen contacto funcionan como las proyecciones y permiten ubicar el calor de resistencia para la soldadura.

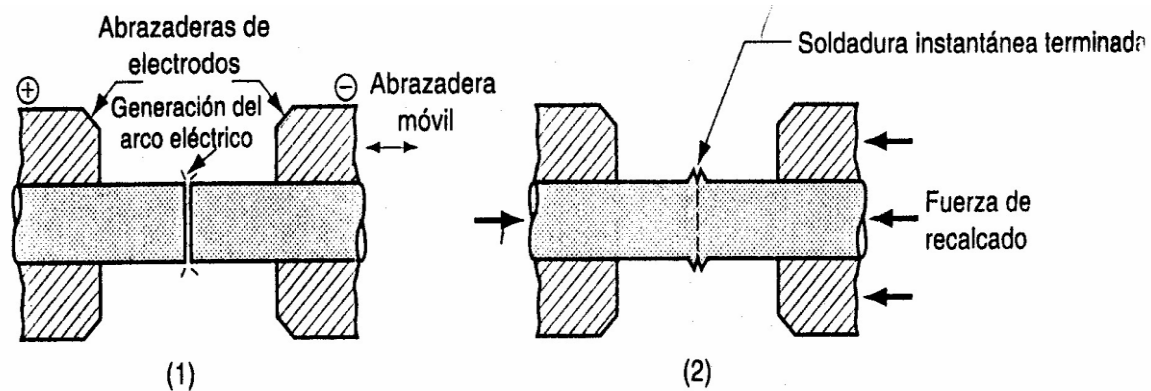
### 1.3.4 SOLDADURA INSTANTANEA

La soldadura instantánea (*flash welding, FW*), usada normalmente para uniones empalmadas, se ponen en contacto o se acercan las dos superficies que se van a unir y se aplica una corriente eléctrica para calentar las superficies hasta su punto de fusión, después de lo cual las superficies se oprimen juntas para formar la soldadura. Los dos pasos se detallan en la figura 1.10.

Además del calentamiento por resistencia, se generan ciertos arcos (llamados destellos instantáneos de ahí el nombre) dependiendo del alcance del contacto entre las superficies empalmantes, por lo que la soldadura instantánea se clasifica en ocasiones en el grupo de soldadura con arco eléctrico.

Por lo general, la corriente se detiene durante el recalco, se desborda un poco de metal de la unión, al igual que materiales contaminantes en las superficies, que después debe maquinarse para proporcionar una unión de tamaño uniforme.

Las aplicaciones de la soldadura instantánea incluyen las soldaduras de tiras de acero en operaciones con laminadoras, la unión de extremos en el estirado de alambres y la soldadura de partes tubulares. Los extremos que se van a unir deben tener las mismas secciones transversales. Para estos tipos de aplicaciones de alta producción, la soldadura instantánea es rápida y económica, pero el equipo es costoso.



**Figura 1.10:** Soldadura instantánea (FW); (1) calentamiento mediante resistencia eléctrica y (2) recalco (las partes se aprietan una contra la otra).

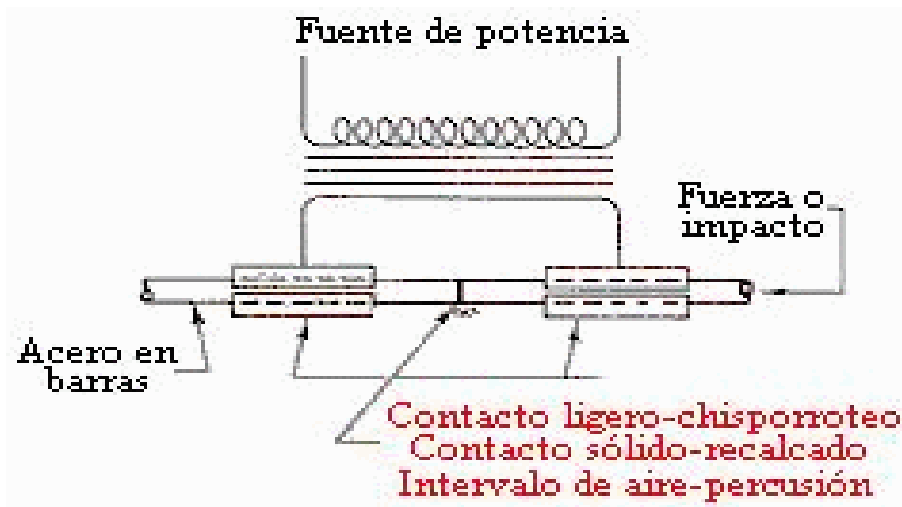
### **1.3.5 SOLDADURA A TOPE**

Cuando en la unión de dos piezas, toda la superficie en contacto entre ellas forma parte de la soldadura, se le conoce como soldadura a tope. Este tipo de soldadura debe de cumplir con el objetivo común de todos los procesos de soldadura por resistencia, llevar a las superficies a soldar hasta la temperatura de fusión y aplicarles la presión de soldadura necesaria entre ellas según la sección a soldar. Este proceso es empleado principalmente para la unión de chapas, tubos y piezas especiales.

En los casos anteriores los materiales son apretados entre sí por dos electrodos, discos y suelda solo la parte por la que la corriente ha sido canalizada: un punto, varios puntos, un cordón, no toda la superficie del material.

En la soldadura a tope, las piezas son sujetadas por mordazas conectadas a la fuente de energía (transformador de potencia), la corriente pasa por toda la superficie de contacto entre materiales.

En la figura 1.11 se muestra el proceso para soldar a tope.



**Figura 1.11:** Proceso para soldar a tope.

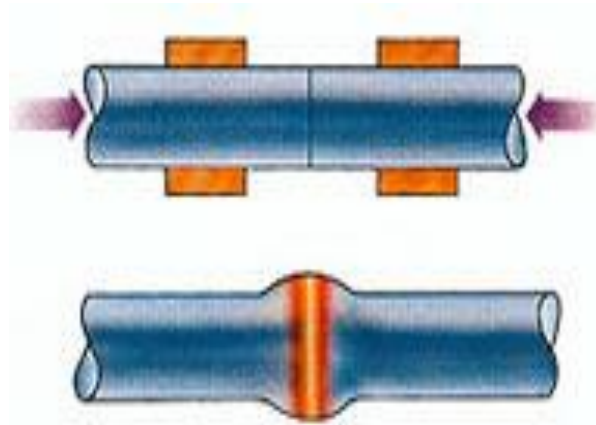
La soldadura a tope se subdivide en:

- **Tope por Resistencia Pura:** Durante todo el tiempo de paso de corriente las dos piezas son apretadas entre sí por la máquina.
- **Tope por chispas o chisporroteo:** Durante el tiempo de paso de corriente las dos piezas no se mantienen completamente en contacto, sino mantenidas a una pequeña distancia que produzca pequeños contactos. Estos contactos van saltando chispas (cierto arqueo eléctrico) y se va produciendo un calentamiento. Solo al final del recorrido de la mesa móvil se da un avance a presión de forja. La resistencia de la junta soldada es mayor en chisporroteo que en resistencia pura.

### **1.3.6 SOLDADURA POR CHISPORROTEO**

Las superficies a soldar se colocan enfrentadas entre sí, extremo a extremo. Este proceso se subdivide en precalentamiento, chispazo y abultamiento. El precalentamiento se lleva a cabo bajo una leve presión de soldadura. Una vez que se calientan los puntos de unión, comienzan los chispazos provocando su rápida fusión. Tras cesar los chispazos, se produce un abultamiento irregular hacia el exterior donde se expulsan óxidos e inclusiones.

Algunos ejemplos de artículos en donde se aplica este tipo de soldadura son: En barras accionadoras, cadenas, tuberías y vías ferroviarias. En la figura 1.12 se muestra un ejemplo de soldadura por chisporroteo.



**Figura 1.12:** Soldar a tope por chisporroteo.

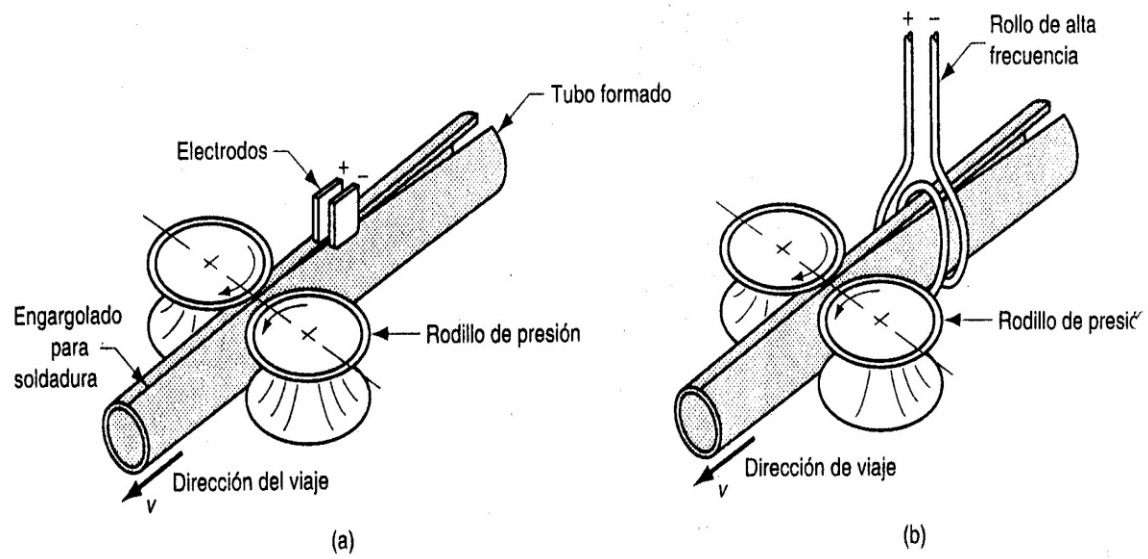
### **1.3.7 SOLDADURA POR RESISTENCIA DE ALTA FRECUENCIA**

La *soldadura por resistencia de alta frecuencia (high-frequency resistance welding, HFRW)*, es un proceso en el cual se usa una corriente alterna de alta frecuencia para el calentamiento, seguido de la aplicación rápida de una fuerza de recalado para producir coalescencia, igual que en la figura 1.13 (a). Las frecuencias están en el rango de 10 a 500 KHz. y los electrodos hacen contacto con el trabajo en la vecindad inmediata de la unión soldada.

En una variación de este proceso, denominada *soldadura por inducción de alta frecuencia, (high-frequency induction welding, HFIW)*, la corriente de calentamiento se induce en las partes mediante un rollo de inducción de alta frecuencia, igual que en la figura 1.13 (b). El rollo no hace contacto físico con el trabajo.

Las aplicaciones principales de la soldadura por resistencia de alta frecuencia HFRW y de la soldadura por inducción de alta frecuencia HFIW son la soldadura empalmada de engargolados longitudinales en conductos y tubos metálicos.

En la figura 1.13 se muestra un ejemplo de soldadura mediante engargolado de tubos por resistencia de alta frecuencia y por inducción de alta frecuencia.



**Figura 1.13:** Soldadura de engargolados de tubos mediante; (a) soldadura por resistencia de alta frecuencia y (b) soldadura por inducción de alta frecuencia.

## **CAPITULO 2**

# **FACTORES ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS QUE INTERVIENEN EN ESTE PROCESO**

## 2.1 FACTORES IMPORTANTES PARA REALIZAR UNA SOLDADURA POR RESISTENCIA

Los factores importantes para la formación apropiada del área fundida entre las piezas a ser soldadas son; la magnitud de la corriente, el tiempo durante el cual fluye, y la fuerza al presionar las partes juntas. El valor óptimo de esos parámetros varía con el tipo de metal y su grosor. Un valor típico de corriente es de 10.000 amperios, por un tiempo de ¼ de segundo, y una fuerza en los electrodos de 600 libras.

Los programas de soldadura por resistencia están disponibles a través de la sociedad americana de soldadura, de la asociación de fabricantes de soldadura de resistencia y de la mayoría de los fabricantes de máquinas soldadoras.

## 2.2 CORRIENTE DE SOLDADURA ADECUADA

Una corriente de 10.000 amperios no está disponible en cualquier tomacorriente estándar. La máxima corriente disponible en los tomacorrientes de casa y oficinas es de 15 amperios. Aún en las fábricas donde se utilizan grandes cantidades de energía eléctrica, 200 amperios es la corriente disponible en los circuitos de distribución eléctrica. Sin embargo, para conseguir los 10.000 amperios necesarios para la soldadura por resistencia hay algunos dispositivos que deben usarse para aumentar la corriente desde un nivel relativamente bajo de la línea de energía.

El dispositivo usado generalmente es un **transformador**. Los transformadores son considerados como un variador ya sea para aumentar o disminuir el voltaje, pero la corriente también puede ser transformada de la misma manera. Un transformador consiste de 2 bobinas de alambre, llamadas primaria y secundaria, enrolladas en un núcleo de hierro.

La energía es transferida del primario al secundario por medio de las propiedades magnéticas del hierro. El factor por el cual la corriente o voltaje es aumentada o disminuida es aproximadamente igual al cociente entre el número de vueltas del alambre en las bobinas formando los enrollados primario y secundario del transformador. [4]

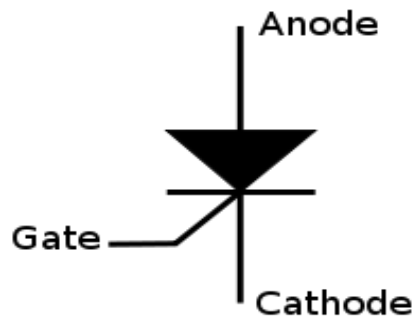


**Figura 2.1:** Transformador ROMAN utilizado en la soldadura por resistencia.

### **2.2.1 DURACIÓN DEL TIEMPO DE LA CORRIENTE DE SOLDADURA**

La duración del tiempo en que la corriente de soldadura fluye a través de las dos piezas de metal a ser soldadas es también un factor muy importante. Sin embargo, un dispositivo usado para encender y apagar la corriente es una parte crítica del sistema. Un interruptor operado manualmente puede ser considerado como un dispositivo de conmutación, pero será inadecuado porque opera a una velocidad relativamente lenta.

Sin embargo, deben de usarse dispositivos electrónicos que no tengan partes móviles para realizar esta conmutación, existen dos dispositivos disponibles, el tubo de ignitrón, que se ha utilizado durante muchos años es uno de ellos, y el rectificador controlado de silicio (SCR), recientemente desarrollado, es el otro y el más utilizado actualmente.



**Figura 2.2:** Símbolo del Rectificador Controlado de Silicio (SCR).

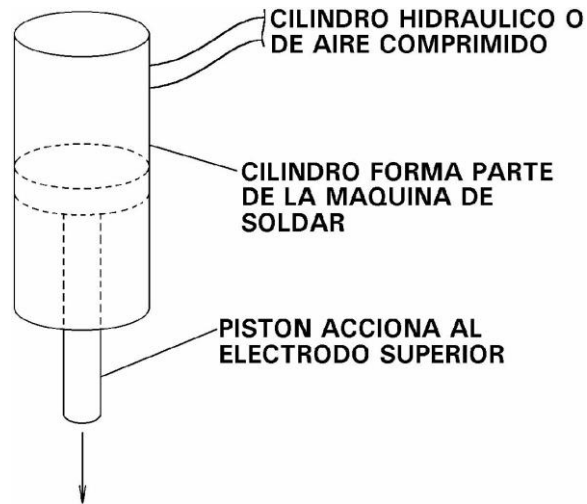
Ambos operan en virtud del hecho de que una pequeña señal eléctrica aplicada al dispositivo le permite a éste conectar en una pequeña fracción de segundo y conducir una gran cantidad de corriente. Removiendo la señal eléctrica le permitirá al dispositivo desconectarse nuevamente. La rapidez en el conectarse y desconectarse es posible porque no hay partes mecánicas en movimiento. Los tubos de ignitrón operan con el principio de ionización del vapor de mercurio, mientras los rectificadores controlados de silicio operan en el principio de los semiconductores de estado sólido similar a los transistores.

### **2.3 OBTENCIÓN DE LA FUERZA EN LOS ELECTRODOS**

El tercer factor crítico en la soldadura por resistencia es la fuerza de presión sobre los metales a soldar (fuerza de electrodos). Esta fuerza es necesaria para asegurar un buen contacto eléctrico entre las partes que van a ser soldadas, y para mantener las partes fijas hasta que el metal derretido que forma la junta sólida tenga tiempo de solidificarse. Dependiendo del tamaño y tipo de máquina soldadora, se usan varios métodos para la aplicación de fuerza de los electrodos, pero el más común es usar aire comprimido.

En un cilindro con un pistón, el cilindro va rígidamente unido al marco de la máquina soldadora y el pistón móvil está conectado al electrodo superior. El aire comprimido introducido en el cilindro desarrolla una fuerza en el pistón que a su vez, empuja hacia

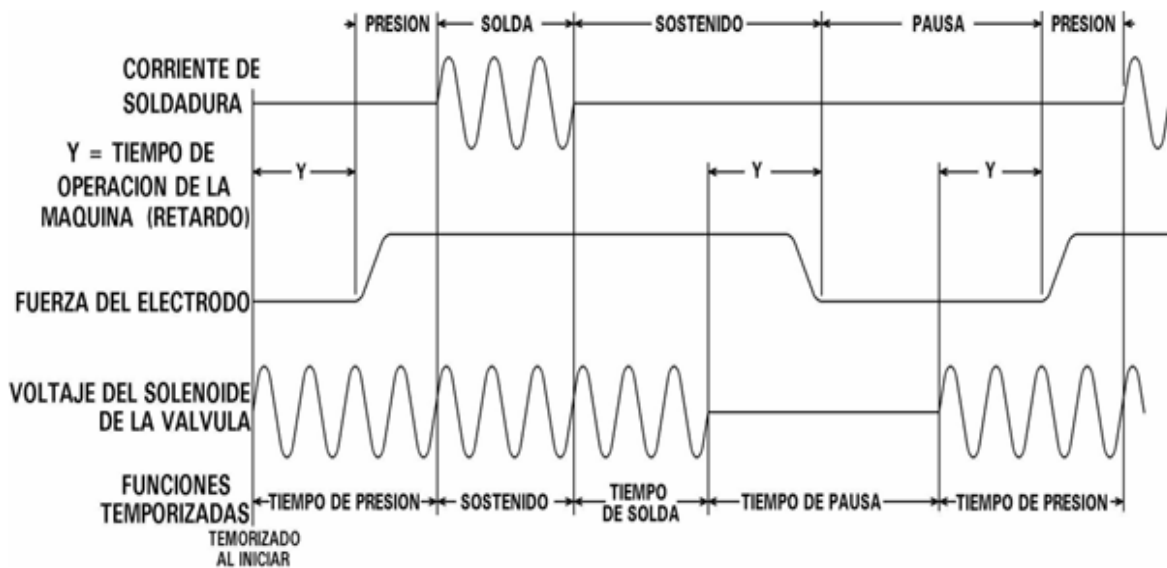
abajo al electrodo contra el metal a ser fundido. La cantidad de la fuerza aplicada depende del área del pistón y de la presión del aire comprimido.



**Figura 2.3:** Cilindro utilizado para la aplicación de la fuerza de los electrodos.

## 2.4 SECUENCIA DE SOLDADURA

Evidentemente no es posible que la corriente eléctrica circule a través de los electrodos para lograr una soldadura si antes no se cierra el circuito sujetando las láminas. Tal situación, trae la necesidad de establecer una secuencia que deberá cumplirse estrictamente en cualquier proceso de soldadura por resistencia. Uno de los electrodos (a veces los dos) es móvil para apretar las piezas entre sí. La secuencia básica de soldadura de un punto se muestra en la figura 2.4 y se detalla a continuación.



**Figura 2.4:** Secuencia básica de soldadura.

### **2.4.1 TIEMPO DE PRESIÓN**

Es el intervalo de tiempo entre la aplicación inicial de la fuerza de los electrodos en el trabajo y la primera aplicación de la corriente. Nótese que esta es la definición del proceso. La definición del control es el intervalo de tiempo entre la activación de la secuencia y el inicio de la corriente de soldar. El tiempo de presión es necesario para retardar la corriente de soldadura hasta que la fuerza del electrodo haya alcanzado el nivel deseado. El electrodo móvil se mueve hasta sujetar los materiales y alcanzar la fuerza preestablecida.

### **2.4.2 TIEMPO DE SOLDADURA**

Es el tiempo durante el cual es aplicada la corriente de soldadura a las piezas de trabajo para realizar la unión de las mismas. La corriente de soldadura empieza a circular a través de los electrodos y simultáneamente se incrementa muy rápido la temperatura entre láminas hasta lograr su fusión.

### **2.4.3 TIEMPO DE SOSTENIDO**

Es el tiempo durante el cual la fuerza de electrodos es mantenida en la pieza de trabajo después de que el último impulso de corriente de soldadura cesa. Durante el proceso de soldadura, al iniciarse el paso de la corriente, se inicia un ligero aplastamiento por contacto de superficies que los electrodos deben de seguir sin que se pierda la presión en la soldadura, y al dilatarse el material por el efecto del calor, aumenta el espesor del mismo el cual desplaza al electrodo, y al iniciarse la fusión que forma la lenteja vuelve a disminuir su espesor, a esto es a lo que se le llama tiempo de sostenido.

### **2.4.4 TIEMPO DE PAUSA**

Es el tiempo durante el cual los electrodos están desconectados del trabajo. El término es aplicable solamente donde el ciclo de soldar es repetitivo.

### **2.4.5 FUERZA DE LOS ELECTRODOS**

Es el resultado de la presión de aire aplicada al pistón en el cual van montados los electrodos. El monto actual de la fuerza de los electrodos depende de la presión de aire efectiva, y del peso y diámetro del pistón.

La mayoría de las máquinas soldadoras tiene cartas de fuerza de electrodos a un costado de las mismas, tabulando presión de aire contra fuerza de electrodos. Si no hay una carta disponible para la máquina, utilice la ecuación 2.1 para calcular la fuerza de estos:

$$F_e = .78D^2P \dots\dots\dots(2.1)$$

Donde:

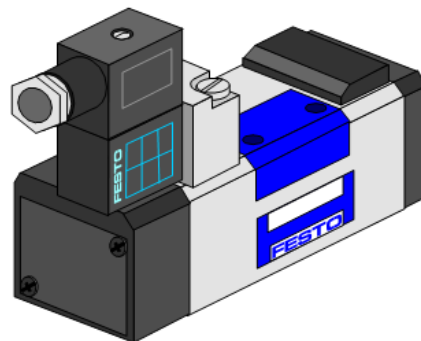
**D** es el Diámetro del Pistón (en pulgadas)  
**P** es la presión de aire (en libras por pulgada cuadrada)  
**Fe** es la Fuerza de Electrodo (en libras)

Puede ser necesario reajustar la velocidad de las válvulas del control cuando cambia la fuerza de los electrodos desde un valor a otro diferente más alto. Una aproximación muy lenta gasta tiempo y puede requerir mucho más tiempo de presión. Una aproximación muy rápida impacta los electrodos y acorta su vida, y también puede resultar en el daño de los soportes de los electrodos.

Cuando se suelda con salientes ó proyecciones, un impacto fuerte dañará la proyección antes de realizar la soldadura y dará como resultado soldaduras pobres aún cuando los demás parámetros se hayan fijado correctamente. [2]

#### **2.4.6 VÁLVULA SOLENOIDE**

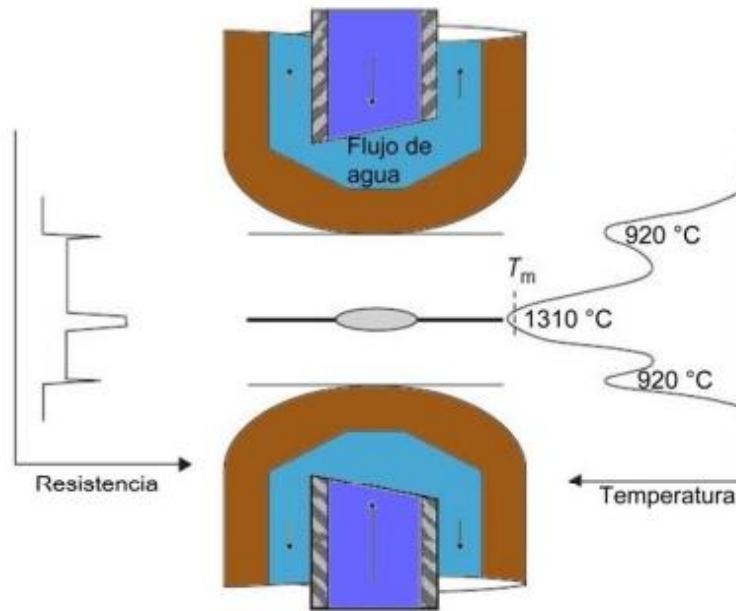
Es una válvula de aire operada eléctricamente en la línea de aire comprimido conectada al cilindro de aire en la máquina soldadora. Cuando el control de la máquina soldadora aplica el voltaje, ésta válvula se abre permitiendo al aire comprimido ingresar al cilindro de aire para desarrollar la fuerza de los electrodos.



**Figura 2.5:** Válvula solenoide FESTO utilizada en la proceso de soldadura por resistencia.

#### **2.4.7 ENFRIAMIENTO**

El agua no es tan solo utilizada para enfriar a los electrodos y evitar su desgastamiento, sino que también tiene como función importante e indispensable, realizar el enfriamiento de las piezas a soldar en la zona de contacto con los electrodos para que solidifique la lenteja fundida bajo presión durante el tiempo de sostenido inmediato posterior al de soldadura.



**Figura 2.6:** Sistema de enfriamiento de los electrodos.

## **2.5 FACTORES QUE AFECTAN A LA SOLDADURA POR RESISTENCIA**

Los factores que afectan el proceso de soldadura por resistencia son eléctricos y mecánicos, a continuación se describen cada uno de ellos.

### **2.5.1 FACTORES ELÉCTRICOS**

**Balance de corriente:** Un problema frecuente, es la derivación de corriente fuera de la zona de soldadura, ocasionado al momento de mover la máquina hacia la pieza de trabajo o viceversa, sucede que los brazos ó porta-electrodos accidentalmente tocan otras partes de la máquina, herramienta de sujeción o al propio material.

**Diseño del circuito secundario:** Una desventaja de las máquinas para soldadura por resistencia es la poca flexibilidad para llevar los electrodos a la zona de soldadura, ya que estos se fabrican generalmente de cobre rígido. Esta condición, frecuentemente lleva a los ingenieros de diseño a desarrollar máquinas con circuito secundario muy grande y en consecuencia las pérdidas de energía por efectos reactivos se incrementan notablemente.

**Resistencia del circuito secundario:** Cuando no se tiene un adecuado programa de mantenimiento en las máquinas, cualquier empalme flojo en el circuito secundario del transformador, incrementará de manera importante la resistencia de contacto afectando directamente la corriente de soldadura.

**Suministro de voltaje:** Las máquinas para soldadura por resistencia trabajan en régimen transitorio, esto es, cada soldadura representa un corto circuito bajo control, pero

finalmente es un corto circuito y cuando la capacidad de la subestación no es suficiente, en cada secuencia de soldadura se producen fuertes caídas de tensión que afectan la corriente de soldadura.

## **2.5.2 FACTORES MECÁNICOS**

**Desgaste de las piezas:** Es natural el desgaste de la piezas en movimiento que haya en la máquina. Generalmente estos problemas afectan directamente la calidad de soldadura porque alteran la posición de los electrodos, la presión de soldadura y la libertad de movimiento.

**Sistema de enfriamiento:** En la mayoría de aplicaciones, la potencia eléctrica necesaria para el buen desempeño de las máquinas es del orden de decenas de miles volts-amperes. Por lo anterior, los electrodos, porta-electrodos, brazos e incluso el transformador principal requieren enfriamiento a base de agua. El flujo de agua insuficiente puede dañar seriamente cualquier equipo de soldadura.

**Desalineación de los electrodos:** Ambos electrodos, fijo y móvil, deben de estar perfectamente alineados cuando sujetan la pieza de trabajo a fin de que la fuerza resultante sea cero. Frecuentemente lo electrodos pierden su posición original por que se aflojan o reciben algún golpe accidental y soldar bajo estas condiciones puede dañar seriamente las piezas de trabajo. [1]

## **2.6 CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA POR RESISTENCIA.**

Desde el punto de vista eléctrico, las máquinas de soldadura por resistencia se clasifican en equipos de energía directa y en equipos de energía almacenada.

**Los equipos de energía directa** obtienen la energía eléctrica de la red, este tipo de equipos son los más utilizados debido a que son de menor costo, de fácil instalación y mantenimiento. **Los equipos de energía almacenada** acumulan y almacenan la energía eléctrica en un banco de condensadores y luego la descargan para realizar la soldadura.

Desde el punto de vista mecánico funcional, los equipos de soldadura por resistencia se clasifican en equipos portátiles y de pedestal.

### **2.6.1 EQUIPOS PORTÁTILES**

Los equipos de soldadura por resistencia portátiles son utilizados en lugares donde la estructura a soldar no puede ser movida debido a su tamaño o peso, en este caso se monta la pieza sobre algún dispositivo de sujeción y el equipo portátil se lleva hacia la pieza a soldar.

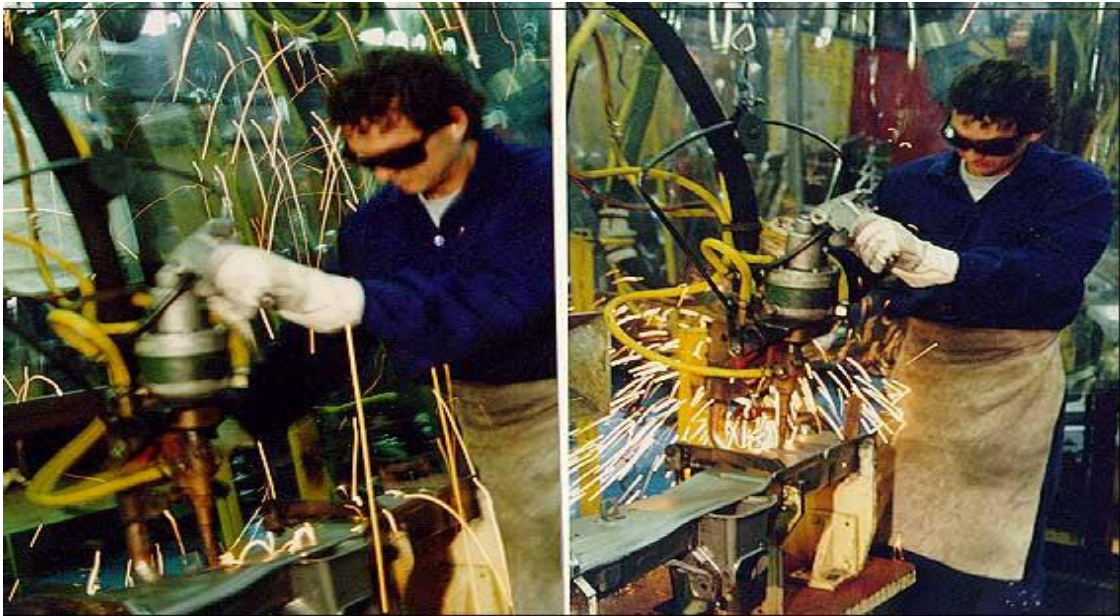
Para trabajos pesados y grandes es difícil mover y (orientar) las piezas hacia las máquinas estacionarias. Para estos casos, se cuenta con pistolas portátiles de soldadura por resistencia en diferentes tamaños y configuraciones.

Las pistolas son diseñadas con accesorios específicos para trabajar con personas (pistolas manuales) o con robots (pistolas robot), estos equipos son muy utilizados en el área de ensamble de automóviles.

Una máquina de soldadura por resistencia portátil consiste de un armazón accionado por un cilindro neumático o hidráulico dependiendo de la fuerza que se requiera, de dos electrodos opuestos dentro de un mecanismo de tenazas.

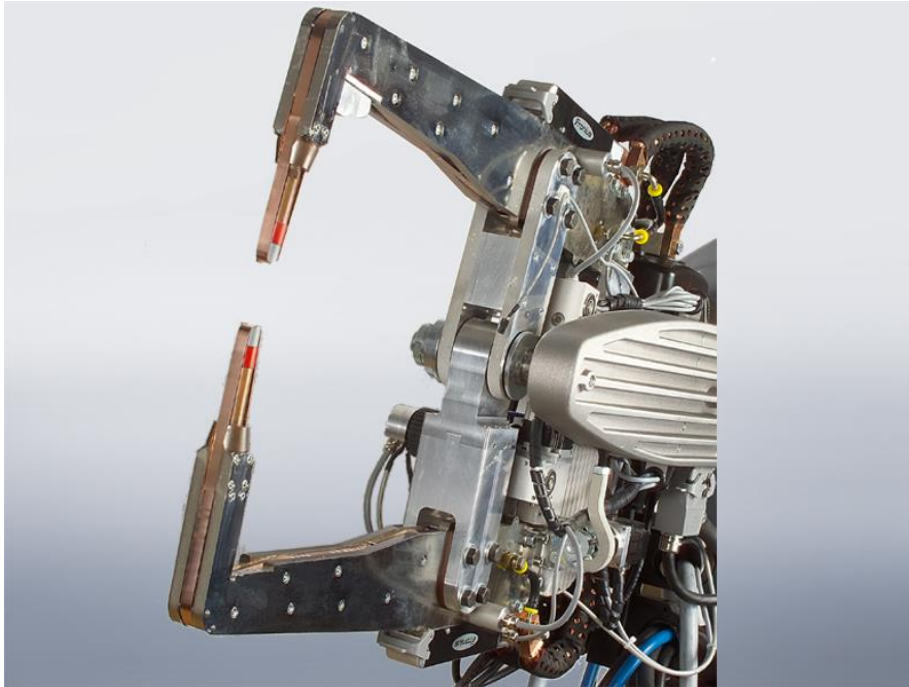
Cada unidad es ligera, por lo que un trabajador o un robot industrial pueden sostenerla y manipularla. La pistola está conectada a su propia fuente y control de energía, mediante cables eléctricos flexibles y mangueras de aire. Si es necesario, también se proporciona enfriamiento de los electrodos mediante una manguera con agua.

Las pistolas portátiles para soldadura de puntos se usan ampliamente en las plantas de ensamble final de automóviles, para soldar las carrocerías de láminas metálicas. Algunas de estas pistolas son manejadas por trabajadores, pero los robots industriales se han convertido en la tecnología preferida.

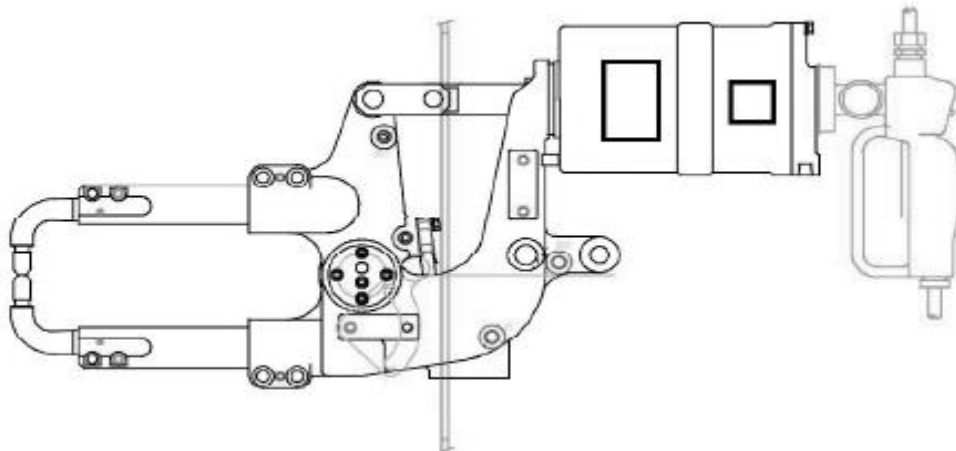


**Figura 2.7:** Operarios empleando la maquinaria portátil de soldeo por puntos.

Existen dos tipos de máquinas portátiles para soldar por resistencia, la de tipo X o tijera y la de tipo C.



**Figura 2.8:** Máquina tipo C portátil para soldar por resistencia.



**Figura 2.9:** Máquina tipo X portátil para soldar por resistencia (puntos).

Entre las principales características de los equipos portátiles se encuentra que:

- Los transformadores de los equipos portátiles deben producir voltajes de circuito abierto de dos a cuatro veces mayores que las máquinas de pedestal, debido a que se añaden los cables entre el transformador y la pistola.
- La impedancia en un equipo de soldadura por resistencia portátil aumenta, por lo cual requiere un voltaje en el devanado secundario más alto en relación a un equipo de pedestal para producir la misma corriente.

## **2.6.2 EQUIPOS DE PEDESTAL**

Los equipos de soldadura por resistencia de pedestal son equipos más robustos en comparación a los equipos portátiles. Este tipo de equipos son muy versátiles ya que pueden utilizarse como equipos para soldadura por puntos, soldadura por proyección (protuberancias) y soldadura por costura.

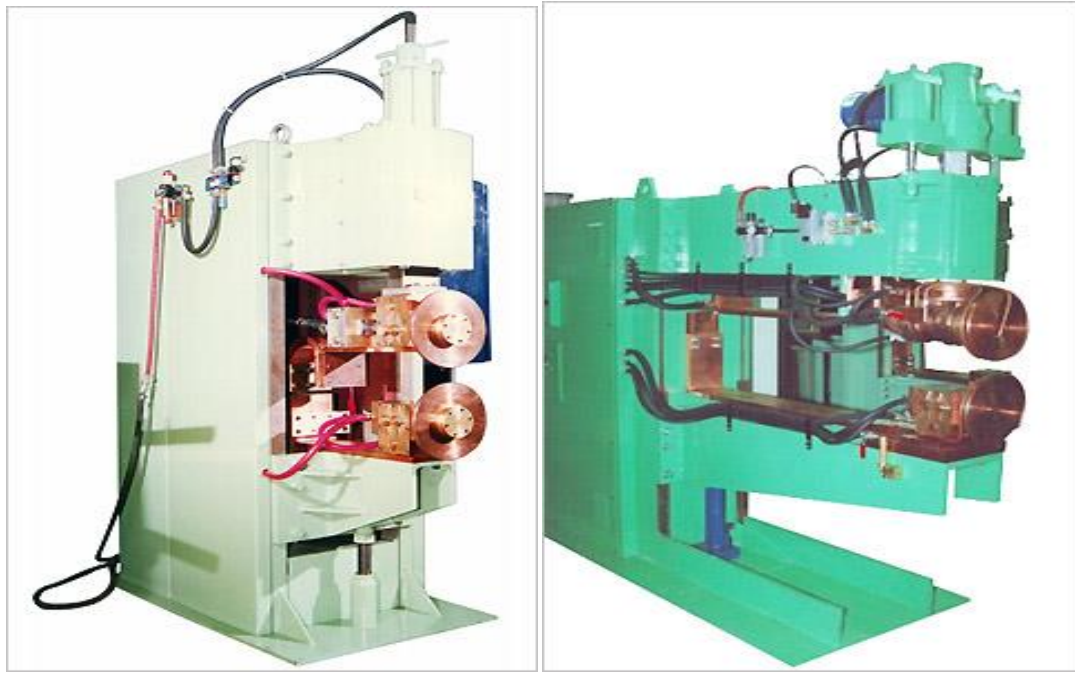
Existen dos tipos básicos de equipos de soldadura por resistencia de pedestal, las de tipo balancín y tipo prensa.

En la figura 2.10 se muestra una prensa de soldadura por resistencia de pedestal para soldar por puntos.

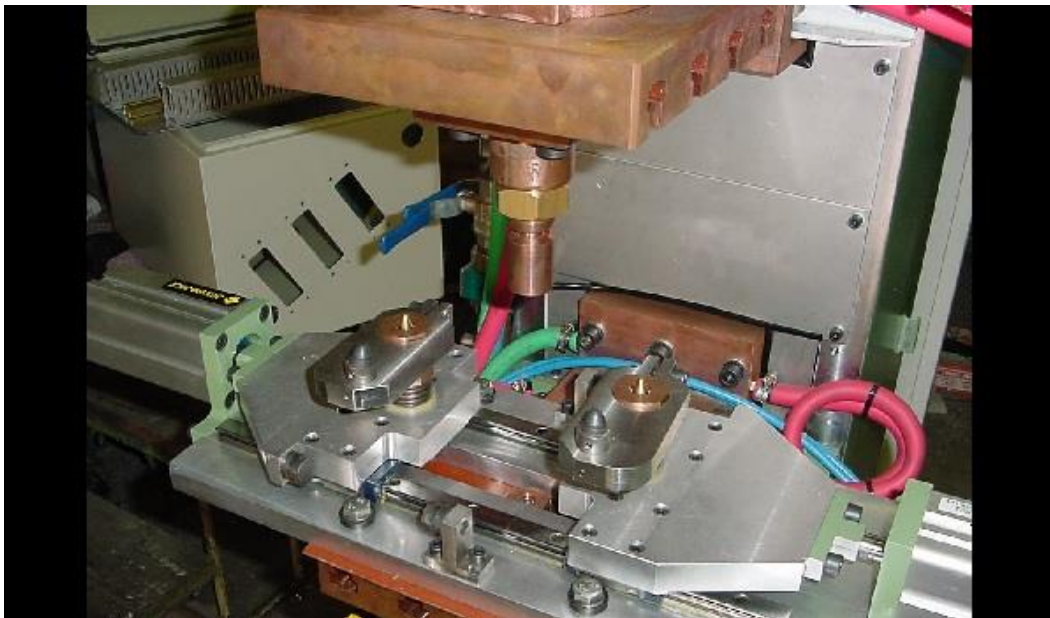


**Figura 2.10:** Máquina de pedestal para soldar por puntos tipo prensa.

En la figura 2.11 se muestran dos máquinas de soldadura por resistencia para soldar por costura, y en la figura 2.12 se muestra una prensa de soldadura por proyección (protuberancias).



**Figura 2.11:** Máquinas fijas para soldar por costura.

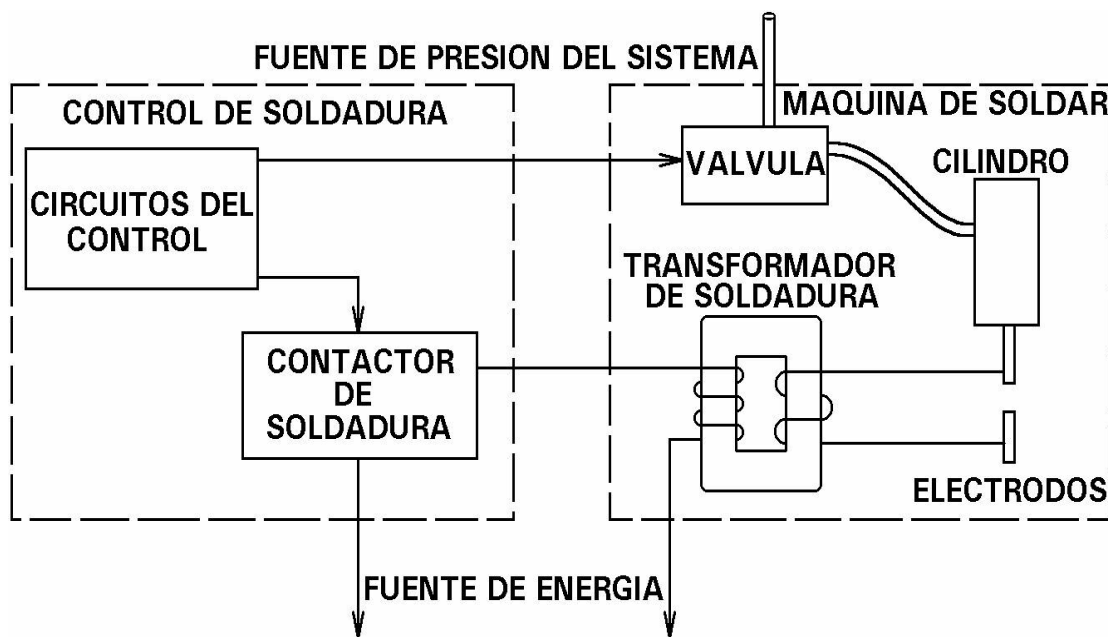


**Figura 2.12:** Máquina tipo prensa para soldar por proyección (protuberancias).

### **2.6.3 ELEMENTOS BÁSICOS DE UNA MAQUINA DE SOLDADURA POR RESISTENCIA**

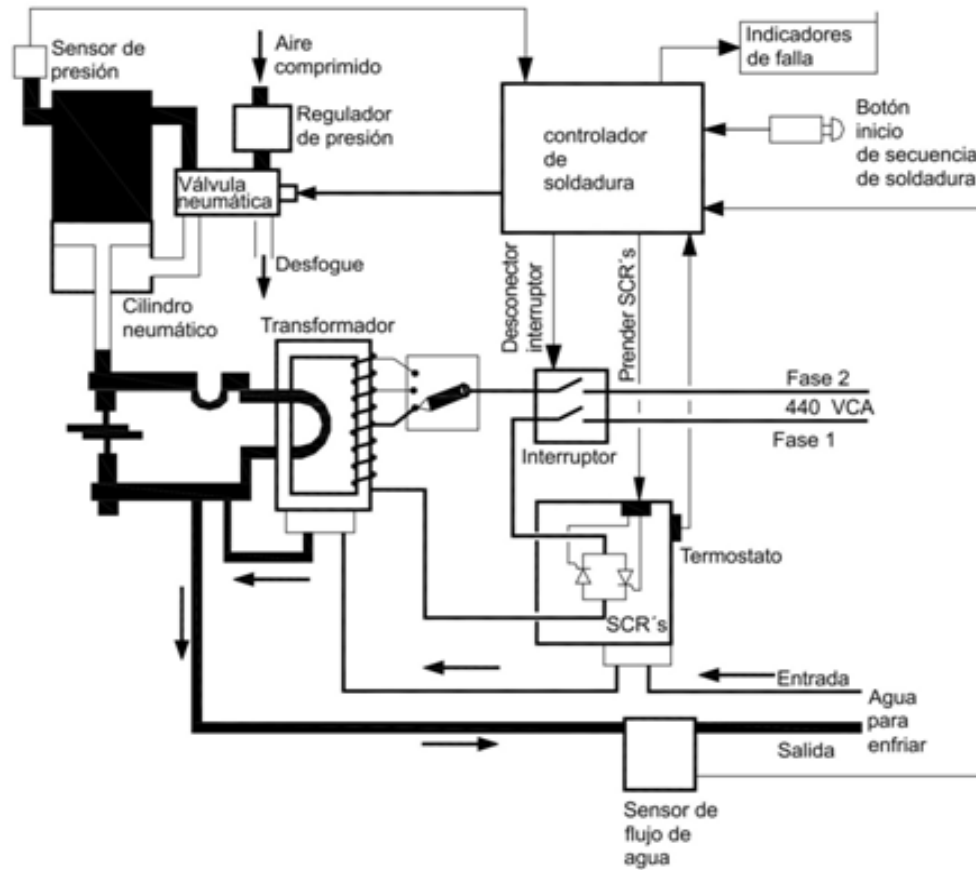
Actualmente una maquina de soldadura por resistencia está constituida por tres elementos básicos:

1. Un transformador para suministrar corriente de soldadura, dichos transformadores son de bajada, es decir, ofrecen un bajo voltaje y una muy alta corriente en el devanado secundario.
2. Un sistema de control para la corriente, el cual es capaz de ajustar y regular el tiempo e intensidad de corriente y accionar todos los componentes del equipo.
3. Un sistema mecánico que sujete las piezas a soldar el cual permita aplicar la fuerza de soldadura. Las características del sistema mecánico son la maniobrabilidad de la máquina, la cual tiene un rol muy importante en el proceso ya que de este sistema depende mucho la calidad de la soldadura.



**Figura 2.13:** Elementos básicos de una máquina de soldadura por resistencia.

De manera específica, a continuación se muestran los elementos de control que componen una máquina de soldadura por puntos para las principales variables del proceso: tiempo de soldadura, intensidad de corriente y fuerza entre electrodos.



**Figura 2.14:** Esquema general de una máquina de soldadura por puntos.

1. **Controlador de soldadura:** Es un dispositivo electrónico programable que establece la secuencia en la que operan el resto de los actuadores en función de algún programa previamente establecido y de señales de entrada.
2. **Regulador de presión:** Permite regular la presión de aire a un valor previamente establecido, en función de esta presión estará la fuerza entre electrodos.
3. **Válvula neumática:** Controla el avance y retroceso del cilindro.
4. **Cilindro neumático:** Controla la apertura y cierre de los electrodos.
5. **Interruptor:** Generalmente se trata de un interruptor termo magnético que ofrece protección al sistema de potencia ante situaciones de corto circuito y/o sobrecarga.
6. **Tiristores (SCRs):** Son dispositivos semiconductores que permiten el paso de corriente en un solo sentido. Funcionan como un interruptor que se controla por

medio de señales de disparo, su función es ajustar la corriente de soldadura por medio del voltaje aplicado al transformador.

7. **Transformador de soldadura:** Su función es básicamente suministrar la corriente de soldadura a muy bajo voltaje.
8. **Sensor de flujo de agua:** Informa al controlador de soldadura cuando no hay flujo de agua en el sistema de enfriamiento de la máquina por medio de una señal discreta.
9. **Sensor de temperatura:** Mejor conocido como termostato, informa al controlador de soldadura cuando la temperatura del transformador o de los tiristores es muy excesiva.

#### **2.6.4 SECUENCIA DE OPERACIÓN DE UNA MÁQUINA DE SOLDADURA POR RESISTENCIA.**

Para poner en marcha una máquina de soldadura por resistencia se requieren tres suministros básicos: agua, energía eléctrica y aire comprimido combinados con una secuencia la cual se describe a continuación:

- **Paso 1.** La secuencia de soldadura inicia cuando el controlador recibe una señal del botón pulsador, entonces el controlador verifica el suministro de energía y el flujo de agua suficiente para el enfriamiento de los elementos de potencia por medio de un sensor.
- **Paso 2.** Se activa la válvula neumática y el electrodo móvil avanza hasta sujetar los componentes a soldar. El controlador verifica la fuerza de soldadura a través del sensor de presión (dicha fuerza depende del diámetro del cilindro y de la presión suministrada por el regulador de aire).
- **Paso 3.** Se activan los SCRS para suministrar voltaje al transformador durante un tiempo previamente programado en el controlador.
- **Paso 4.** Cuando el tiempo de soldadura haya concluido, los electrodos permanecerán cerrados durante el tiempo que se hayan programado en el controlador a fin de permitir que el punto de soldadura sea enfriado bajo presión.

- **Paso 5.** El material queda soldado, la válvula es desactivada para retraer el cilindro y así separar los electrodos del material ya unido.

Ante alguna condición de falla, generalmente el controlador es capaz de impedir que se inicie otra secuencia o interrumpirla en cualquier momento, e incluso apagar todo el sistema aplicando un pulso de voltaje a la bobina de apertura instalada en el interruptor principal de arranque de la máquina.

## **2.7 ELECTRODOS**

Las principales funciones de los electrodos en el proceso de soldadura por resistencia son:

- Conducir la corriente de soldadura hacia los elementos a soldar.
- Transmitir la fuerza para la unión de las piezas.
- Fijar o colocar las piezas en alineación correcta.
- Eliminar el calor de soldadura.

Los electrodos que son utilizados para el proceso de soldadura por resistencia son de cobre, debido a que comparado con la mayoría de los metales, el cobre tiene una resistencia eléctrica más baja y una conductividad térmica más alta, esto asegura que el calor será generado en las piezas de trabajo y no en los electrodos.

Para generar calor, los electrodos de cobre pasan una corriente eléctrica a través de la pieza de trabajo, el calor generado dependerá de la resistencia eléctrica, de la conductividad térmica del metal y del tiempo en que la corriente es aplicada.



**Figura 2.15:** Electrodos de cobre que son utilizados en la soldadura por resistencia.

### **2.7.1 CICLO DE VIDA DE UN ELECTRODO**

La vida útil de un electrodo y el número de soldaduras que puede llegar a realizar depende mucho del tipo de corriente que se le aplique y de cómo se le aplique. El empleo de corrientes continuas procedentes de corrientes alternas con frecuencias de la red o de medias frecuencias rectificadas, así de cómo trabajar con tensiones bajas y poco recortadas prolongan bastante la vida útil del electrodo.

Un electrodo en el proceso de soldadura por resistencia se desgasta debido a los calentamientos e impactos repetitivos que sufre la cara o punta del mismo durante la aplicación de la soldadura, por lo tanto la vida de un electrodo (números de puntos capaz de realizar) y su correspondiente desgaste, están determinados tanto por los procesos eléctricos y térmicos inmersos en el mismo.

La figura 2.16 muestra tres capsulas de electrodos que ya han cumplido su ciclo de vida útil.



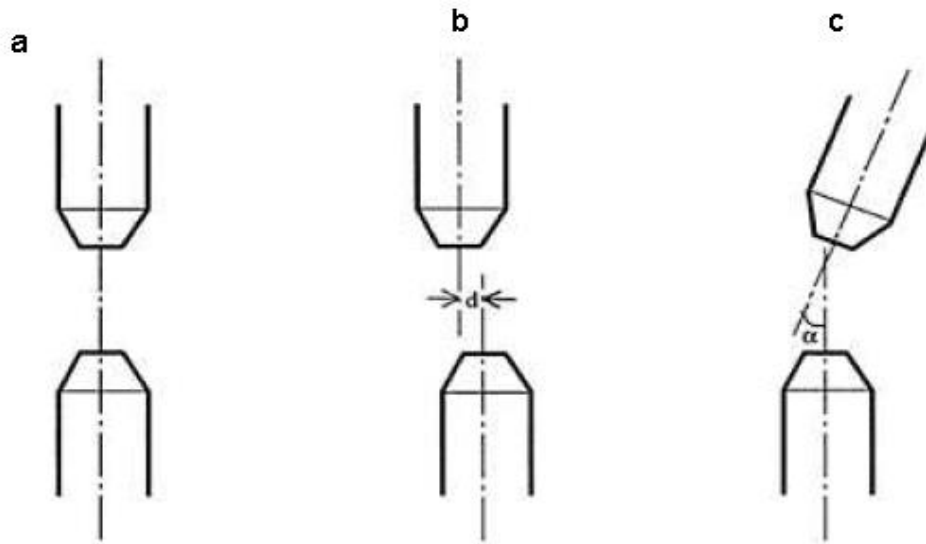
**Figura 2.16:** Electrodo con vida útil cumplida.

Durante la aplicación de la soldadura es posible que se presente una interacción metalúrgica entre los electrodos y las placas a soldar debido al efecto joule originado en la resistencia eléctrica de contacto entre la cara del electrodo y la placa, esta resistencia eléctrica depende de la condición superficial de estos elementos y es la que determina la generación de calor y las reacciones metalúrgicas.

### **2.7.2 ALINEACIÓN DE LOS ELECTRODOS**

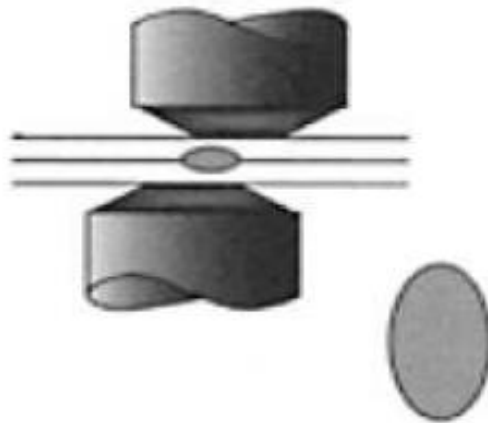
Es necesario tener bien alineados a los electrodos para obtener superficies bien definidas y que sean paralelas a las caras de los electrodos, estas condiciones nos ayudaran a obtener puntos de soldadura de buena calidad.

La figura 2.17 muestra la alineación correcta de los electrodos, donde las dos caras de los electrodos deben ponerse en contacto en toda su superficie cuando se encuentren aplicando la soldadura y así poder evitar la pérdida de densidad de corriente.



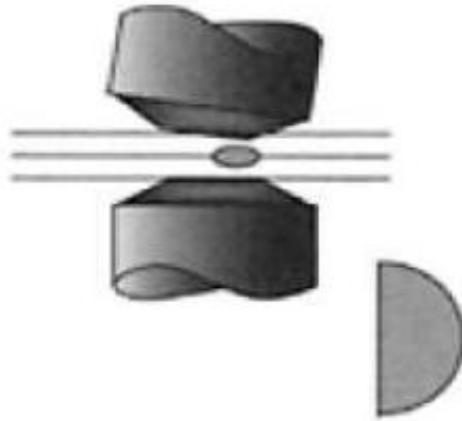
**Figura 2.17:** Alineación de los electrodos. a) Alineación axial correcta, b) electrodo desalineado axialmente, c) electrodo con desalineamiento angular.

La figura 2.17 b muestra un electrodo desalineado axialmente a una distancia  $b$ , en el cual existirá pérdida de densidad de corriente durante la aplicación de la soldadura y como consecuencia obtendremos un punto de soldadura elíptico.



**Figura 2.17 b:** Punto de soldadura elíptico producido por un electrodo desalineado axialmente a una distancia  $b$ .

La figura 2.17 c muestra un electrodo con desalineamiento angular, en el cual el punto de soldadura formado tendrá la forma de una media luna, es decir que el punto de soldadura será deficiente por lo cual la resistencia eléctrica del material a soldar se verá reducida.



**Figura 2.17 c:** Punto de soldadura producido por electrodos desalineados angularmente.

## **2.8 CARACTERISTICAS DEL MATERIAL A SOLDAR**

El resultado a conseguir es una lenteja o pepita de soldadura del material fundido entre las dos placas a unir de buena calidad. El diámetro de la lenteja de soldadura tiene que ser del 90% al 110% del diámetro de la cara activa del electrodo. El espesor de la lenteja de soldadura tiene que ser menor a la suma del espesor del material soldado.

<b>Espesor del metal [mm].</b>	<b>Diámetro del punto [mm].</b>
<b>0.40 - 0.59</b>	<b>3.0</b>
<b>0.60 - 0.79</b>	<b>3.5</b>
<b>0.80 - 1.39</b>	<b>4.0</b>
<b>1.40 - 1.99</b>	<b>4.5</b>
<b>2.00 - 2.49</b>	<b>5.0</b>
<b>2.50 - 2.99</b>	<b>5.5</b>
<b>3.00 - 3.49</b>	<b>6.0</b>
<b>3.50 - 3.99</b>	<b>6.5</b>

**Figura 2.18:** Diámetros de puntos de soldadura por resistencia recomendados.

Las superficies de los materiales a soldar deben de estar limpias, libres de óxidos, pintura, grasas, aceites y de químicos compuestos, también deben de tener una superficie lisa y plana.

Los aceros inoxidables no se corroen y por lo regular no requieren de una limpieza minuciosa antes de someterlos a la soldadura por resistencia.

### **2.8.1 CALIDAD DE LA SOLDADURA POR RESISTENCIA**

La calidad de la soldadura a obtener, depende principalmente de la aplicación que esta vaya a desempeñar. En general, la calidad de la soldadura por resistencia se determina a base de los siguientes criterios:

- Aspecto de la superficie
- Tamaño del punto de soldadura
- Identación de los electrodos
- Resistencia eléctrica del material
- Discontinuidades internas
- Separación de las láminas y expulsión del metal
- Espesor del material

### **2.9 CAUSAS DE LOS DEFECTOS EN LA SOLDADURA POR RESISTENCIA**

Existen varias condiciones indeseables que pueden provocar defectos en la aplicación de la soldadura, las cuales se describen a continuación:

1. Tiempo de sostenido muy corto dará como resultado la expulsión del material a soldar, electrodos quemados, malas soldaduras y provocara daños a los SCRS.
2. Tiempo de soldadura muy largo acortará la vida de los electrodos.
3. Usted no podrá juzgar la calidad de la soldadura únicamente observando el trabajo terminado, si no que se tendrá que realizar una prueba destructiva del mismo para corroborar la calidad de la soldadura.
4. Tiempo de soldadura muy corto dará como resultado soldaduras de baja calidad, asumiendo así que todos los demás factores estén normales.
5. Tiempo de retención muy corto puede dar como resultado expulsión de las superficies, engrosamiento de los electrodos y rupturas del metal.
6. Presión de soldadura muy baja puede provocar la expulsión del metal, daño en los electrodos (engrosamiento), y reducir la vida útil de los electrodos.
7. Superficie de contacto de electrodos muy pequeña dará como resultado puntos muy pequeños y un excesivo engrosamiento de los electrodos.
8. Una superficie de contacto de electrodos muy grande dará como resultado puntos muy grandes.

9. Un enfriamiento insuficiente del sistema dará como resultado un engrosamiento y acortará la vida útil de los electrodos, provocará una ruptura en la superficie y excesivas huellas en el material (en algunos casos).
10. Material a soldar sucio engrosa la superficie, acortará la vida útil de los electrodos y quemará la superficie de trabajo.
11. Una velocidad de acercamiento de los electrodos excesiva, acelerará el revestimiento de los electrodos y causará un daño severo del equipo. En soldaduras por proyección, puede dañar la proyección de la soldadura dando como resultado una soldadura de muy baja calidad.
12. No haga una soldadura sobre el mismo punto dos veces para tratar de cubrir una soldadura mala. Para hacerlo efectivamente, la soldadura debe enfriarse y luego volver a realizarla con una corriente mucho más alta.

### **2.9.1 SOLDADURA DE FORMA IRREGULAR**

1. Incorrecta alineación de los electrodos
2. Desplazamiento de los elementos a soldar
3. Desgaste excesivo del electrodo a causa de la mala elección del mismo
4. Incorrecto rectificado de las puntas del electrodo
5. Embonamiento deficiente de los elementos que trabajan a presión

Estas causas generan puntos de soldadura con menor resistencia mecánica debido a la alteración del área de contacto en la zona interior y a la expulsión del material fundido.

### **2.10 CUIDADOS A TENER DURANTE EL DESARROLLO DEL PROCESO DE SOLDADURA POR RESISTENCIA**

Es necesario tener cuidados cuando se está trabajando con equipos de soldadura por resistencia ya que cualquier accidente puede ocurrir cuando el equipo es manejado incorrectamente o por personal no capacitado en el proceso.

Cuando se coloquen, replacen o alinean electrodos, se debe cortar el suministro de energía eléctrica principal, cerrar las válvulas de aire comprimido y bloquear el flujo de agua del sistema de enfriamiento y refrigeración.

Durante la ejecución del proceso de soldadura por resistencia se debe usar el equipo de seguridad y de protección personal adecuado como son lentes, casco, tapones auditivos, guantes de carnaza, zapatos aislantes, overol o ropa de mezclilla y una mascarilla cubre boca. Este equipo de protección personal es muy indispensable utilizarlo para evitar lesiones graves por quemaduras generadas por las chispas que proyecta la soldadura.

No insertar las manos, dedos, brazos o alguna otra parte del cuerpo cuando los elementos mecánicos de la máquina se encuentren en movimiento, ya que podrían ser atrapados por los mismos causando lesiones serias en su cuerpo y en los elementos de la máquina.

No tocar por ningún motivo ni por error algún dispositivo eléctrico de la máquina cuando se encuentre trabajando o energizada.

## **CAPITULO 3**

# **CONTROL DE SOLDADURA POR RESISTENCIA**

### **3.1 CONTROLADOR DE SOLDADURA POR RESISTENCIA**

Es un dispositivo electrónico encargado de controlar el movimiento mecánico de la máquina soldadora, también se encarga de controlar las funciones y secuencias básicas como son la corriente, la presión y el tiempo de soldadura. Además de las funciones y secuencias básicas, el controlador de soldadura también realiza funciones operativas e informativas.



**Figura 3.1:** Unidad de control de soldadura por resistencia.

El propósito de un control de soldadura es coordinar la aplicación de la corriente de soldadura con el movimiento mecánico de la máquina soldadora, más específicamente, el control le dice a los electrodos cuando cerrarse y cuando abrirse, y también le dice a la corriente de soldadura cuando empezar y cuando detenerse. Podría pensarse del control de soldadura como el "cerebro" y de la máquina como los "músculos" de todo el sistema de soldadura por resistencia.

#### **3.1.1 CONEXIÓN DE UN CONTROL DE SOLDADURA POR RESISTENCIA**

El módulo de control de soldadura, básicamente está diseñado para ser instalado en un controlador lógico programable (PLC) ubicado en el gabinete del control de soldadura. Este módulo de control de soldadura se comunica o interconecta a la tarjeta de control de disparo de SCRS mediante un arnés cuya terminal se conecta directamente en la parte frontal del módulo procesador de control de soldadura.

El módulo de control de soldadura provee las señales de disparo a los SCRS, los cuales proporcionan en alto voltaje y la corriente requerida al transformador de soldadura el cual proporciona de un bajo voltaje y una alta corriente a los electrodos que realizarán la soldadura.



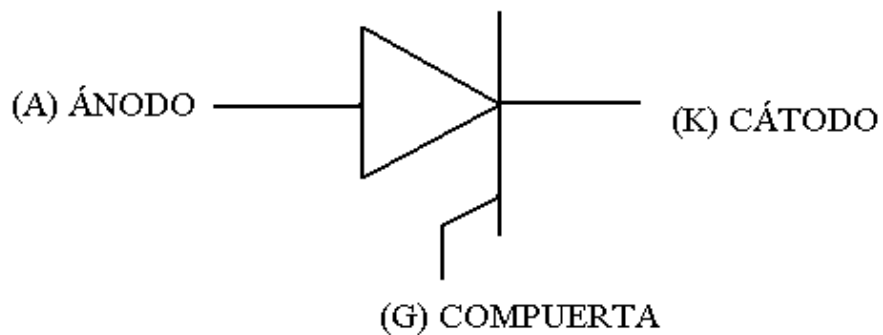
**Figura 3.2:** Módulo de control de soldadura por resistencia utilizado en la industria automotriz.

### **3.2 CONTROL DE CORRIENTE DE SOLDADURA**

El control de la corriente de soldadura se realiza fundamentalmente por medio de una tarjeta electrónica (también llamada temporizador) y por un par de dispositivos semiconductores llamados tiristores que son controlados por la misma tarjeta.

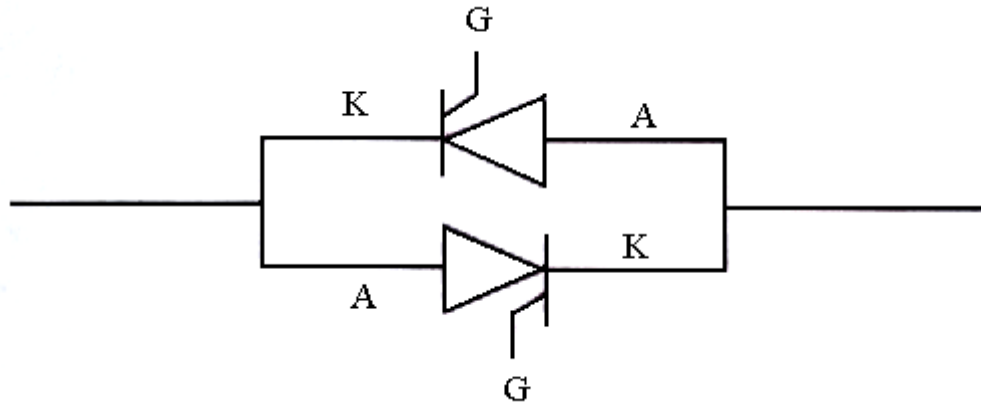
Los tiristores son dispositivos semiconductores de cuatro capas con un mecanismo de control. En particular los rectificadores controlados de silicio (SCR), como la terminología lo indica es un rectificador construido de silicio con una tercera terminal, ánodo, cátodo y compuerta. La operación básica de este dispositivo es la siguiente:

Una vez que se ha polarizado directamente la región de ánodo al cátodo, un impulso en la terminal compuerta determina cuando el rectificador conmuta del estado de circuito abierto al de corto circuito. El símbolo gráfico para el SCR se muestra a continuación.



**Figura 3.3:** Símbolo gráfico del rectificador controlado de silicio.

El arreglo de SCR más común para control de potencia en máquinas de soldadura por resistencia consiste de dos dispositivos conectados en contrafase (anti paralelo), esto es que el cátodo de un SCR se conecta al ánodo del otro SCR y viceversa como se muestra en la siguiente figura:



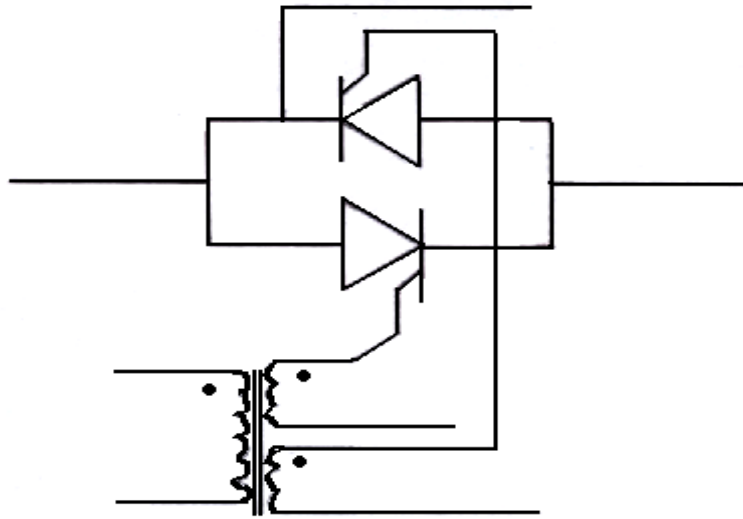
**Figura 3.4:** Arreglo de dos SCRS conectados en contrafase (anti paralelo). Recordemos que el SCR es un interruptor electrónico que conduce corriente solo en una dirección cuando se aplica voltaje entre su terminal compuerta y cátodo. Para encender uno de los dos SCRS se requieren dos condiciones:

1. Polarizar directamente al SCR.
2. Aplicar un pulso de voltaje entre compuerta y cátodo.

Para mantener encendido al SCR es necesario que circule suficiente corriente a través de él. El SCR se apagará cuando la corriente de ánodo a cátodo disminuya a cero, esto sucede al momento de cambiar la polaridad del voltaje de alimentación.

Los pulsos de disparo para los tiristores son aplicados a través de la compuerta y el cátodo. Se puede observar que los pulsos de disparo para nuestro arreglo en contrafase no están referenciados al mismo punto y por ello es necesario utilizar un transformador que además provee aislamiento entre el circuito de disparo y el voltaje de alimentación principal.

A este transformador se le llama **transformador de pulso** y forma parte de otra tarjeta electrónica comúnmente llamada **tarjeta de disparo** la cual funciona como interfaz entre el temporizador y los SCRS.



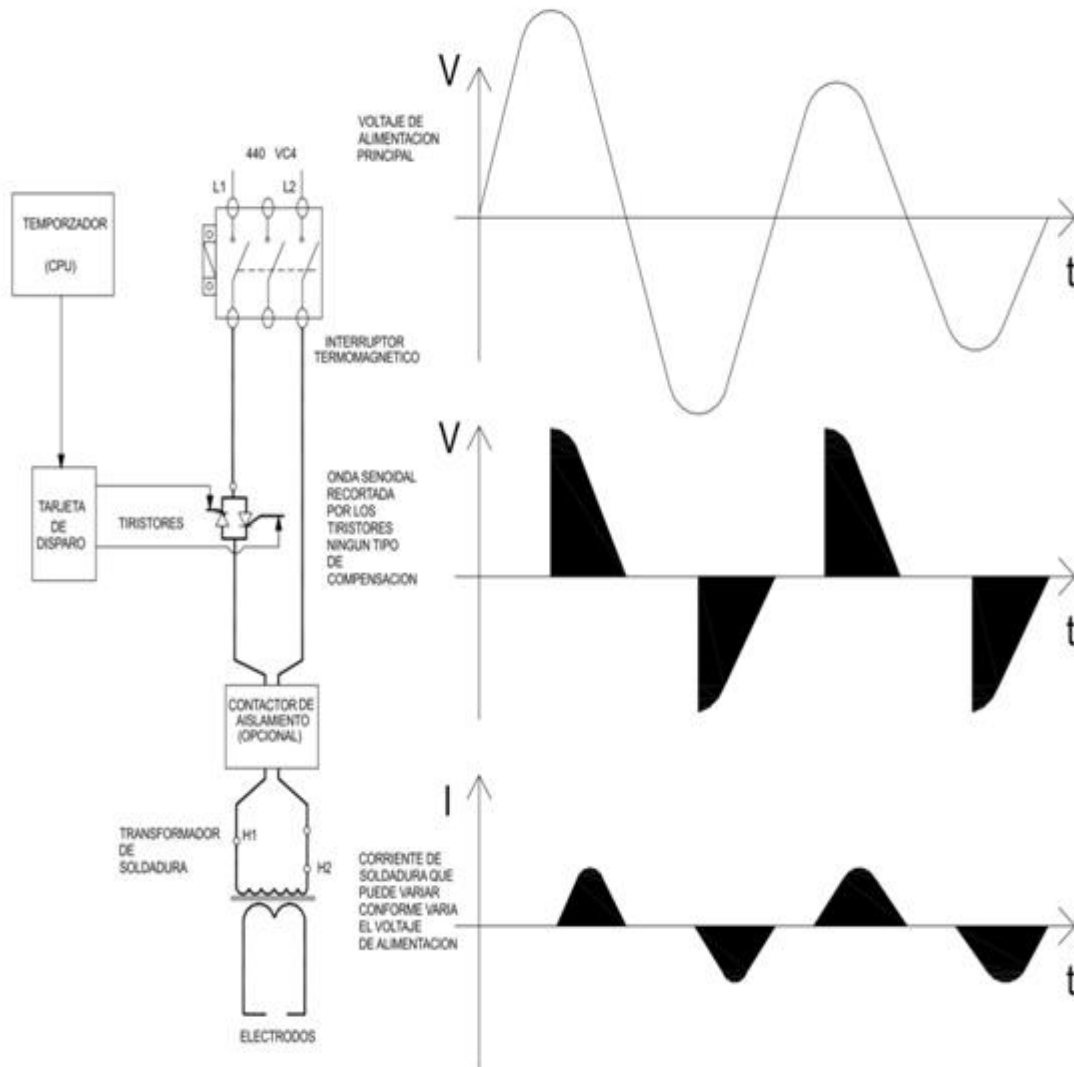
**Figura 3.5:** Arreglo de tiristores en contrafase con transformador de pulso.

Si los pulsos de disparo se le aplican todo el tiempo a los SCRS, estos conducirán todo el tiempo y permitirán la máxima corriente posible.

Cuando el cruce por cero de la onda de voltaje se detecta y los pulsos de disparo se retrasan a partir de dicho cruce, el SCR estará en conducción solo durante el resto del semiciclo, dando como resultado una disminución del voltaje eficaz y también una disminución de la corriente de soldadura. Por lo tanto, controlándole el ángulo de disparo a los SCRS es posible controlar la corriente que circula a través de los mismos.

### **3.2.1 CONTROL DE POTENCIA EN ANGULO DE FASE**

Cuando el temporizador solo ajusta cierto ángulo de disparo para los SCRS y no realiza ningún tipo de compensación relacionada con el voltaje de alimentación u otra variable que afecte la corriente de soldadura, entonces tenemos un mecanismo de control llamado **control de potencia en ángulo de fase**.



**Figura 3.6:** Control de potencia en modo ángulo de fase.

### **3.2.2 CONTROL DE POTENCIA EN COMPENSACIÓN DE VOLTAJE**

Cuando el voltaje de alimentación principal disminuye, entonces la corriente disminuye y la calidad de la soldadura también. De aquí surge el **control de potencia en compensación de voltaje**.

En esta modalidad, el temporizador modifica el ángulo de disparo a los SCRS cuando el voltaje de alimentación varía, a fin de mantener constante el voltaje que alimenta al circuito primario del transformador.

### CONTROL DE POTENCIA EN COMPENSACION DE VOLTAJE (VC)

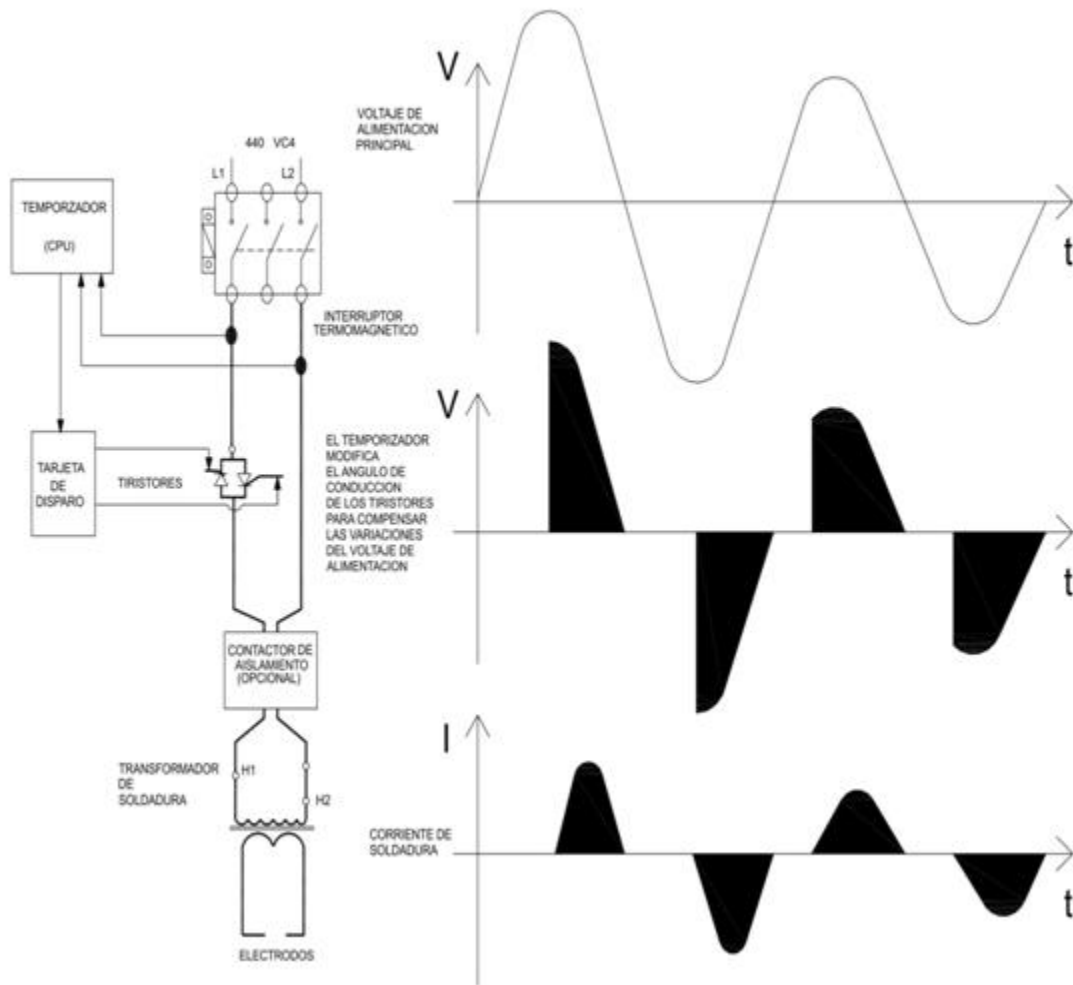


Figura 3.7: Control de potencia en modo compensación de voltaje.

### 3.2.3 CONTROL DE POTENCIA EN MODO CORRIENTE CONSTANTE

Compensar las variaciones del voltaje de línea, no garantiza una corriente de soldadura constante, simplemente porque la resistencia del circuito secundario del transformador no es constante. De aquí surge el **control de potencia en modo corriente constante**.

En esta modalidad, el temporizador mide la corriente de soldadura cada ciclo por medio de un toroide y la compara con el valor programado. Cualquier diferencia en la corriente de soldadura es compensada ajustando el ángulo de disparo a los SCRS, ya que el objetivo final es mantener constante dicha corriente.

### CONTROL DE POTENCIA EN CORRIENTE CONSTANTE (CCR)

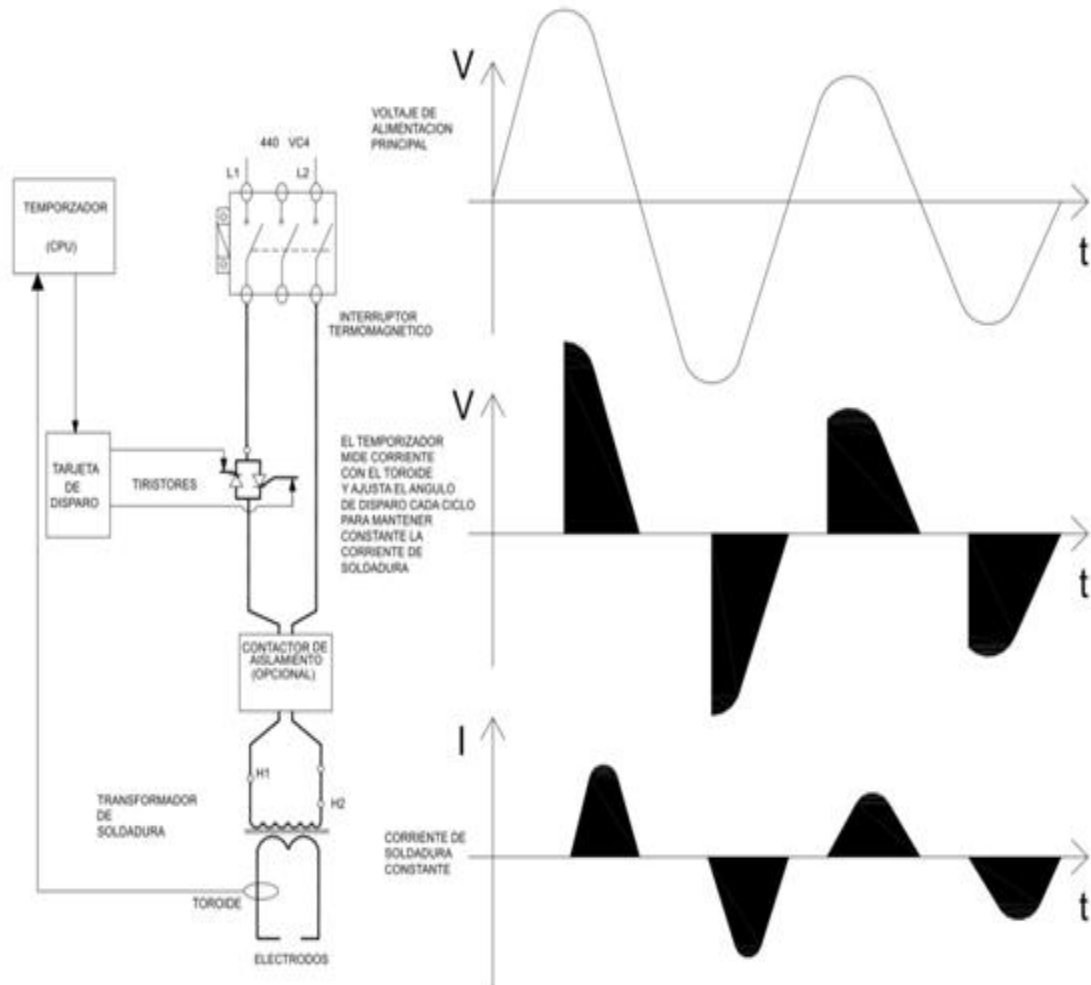


Figura 3.8: Control de potencia en modo corriente constante.

### 3.2.4 CONTROL DE TIEMPO DE SOLDADURA

El control de tiempo de soldadura está implícito dentro del control de corriente, es decir, que en la misma forma que se programa al temporizador disparar a los SCRS en algún ángulo para obtener cierto porcentaje de calor o corriente, también se le programa el número de veces que este mismo realizará dicho disparo, esto es a lo que se le llama **tiempo de soldadura medido en ciclos**.

### 3.3 TRANSFORMADORES

La corriente de la línea que alimenta a la máquina de soldar por resistencia está generalmente dentro del rango de 220 a 550 voltios de corriente alterna, la corriente que

circula a través de los electrodos va desde 3000 a 100,000 amperios o más, y para realizar el soldeo se necesitan tensiones del orden de 0.5 a 35 voltios.

Por ello para obtener esta corriente es totalmente indispensable el uso de un transformador, el cual va instalado dentro de la máquina de soldar alimentado generalmente con un voltaje de 220 a 550 voltios de corriente alterna a través de un interruptor temporizador especialmente diseñado para controlar el tiempo y la cantidad de corriente. A este transformador podemos calificarle como el corazón de la máquina de soldar.

Una característica específica de los transformadores dentro del proceso de soldadura por resistencia son las muy duras condiciones de trabajo a las cuales están sometidos, tienen que soportar intensidades de corriente muy elevadas durante unas decimas de segundo, las cuales pueden ser de un valor de 5 veces mayor al valor nominal sufriendo así esta condición de trabajo miles de veces al día durante toda su vida útil.

Al momento de descargar la intensidad de corriente para realizar el soldeo, los transformadores generan en los conductores por donde circula la corriente y en sus bobinas unos esfuerzos electromagnéticos muy elevados, los cuales provocan el aumento de la intensidad al cuadrado de la misma y en consecuencia se producen vibraciones y movimientos bruscos repetitivos que especialmente cuando los aislantes de estos conductores se encuentran con un desgaste excesivo, pueden provocar el daño o destrucción de dichos transformadores.

Este grave problema ya ha sido prácticamente eliminado con el empleo de transformadores moldeados y encapsulados con resina, con lo cual las bobinas del transformador forman un conjunto único, un bloque sin posibles vibraciones. El elevado poder aislante y la buena conductibilidad térmica de esta resina han permitido reducir mucho el volumen de tamaño de los transformadores y así obtener altas intensidades de corriente al reducir la impedancia interna de los mismos.

Estos transformadores son difícilmente reparables y exigen una cuidadosa atención en su refrigeración interna, ya que un fallo en su suministro de agua los puede inutilizar rápidamente.

### **3.3.1 TIPOS DE TRANSFORMADORES**

Los transformadores más utilizados para el proceso de soldadura por resistencia son los siguientes:

- De tipo robot.



**Figura 3.9:** Transformador ROMAN tipo robot.

- De tipo mecánico.



**Figura 3.10:** Transformador ROMAN tipo mecánico.

- De tipo pistola portátil.



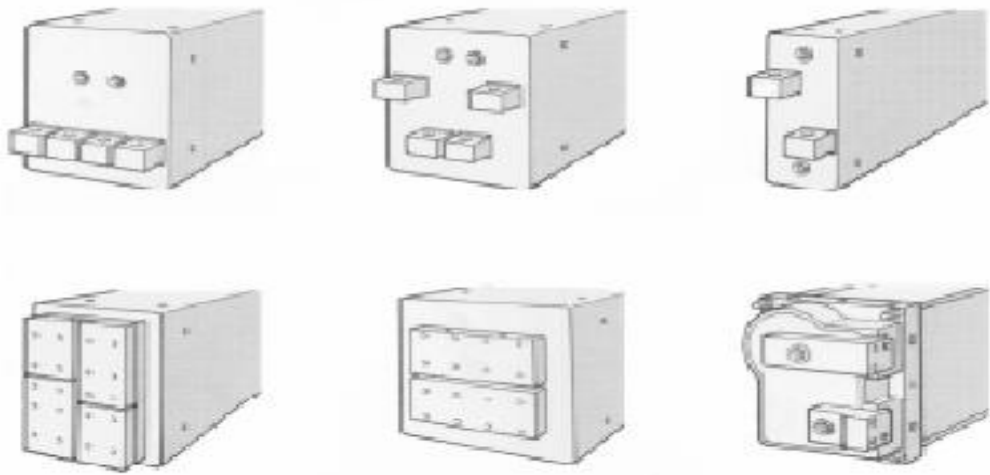
**Figura 3.11:** Transformador ROMAN tipo pistola portátil.

ROMAN es el mayor proveedor en el mundo de transformadores para soldadura por resistencia, los cuales pueden ser de refrigeración por agua o por aire. Con alrededor de 5 a 5000 KVA y 200 a 800 voltios primarios cuya frecuencia oscila de 50 a 2000 Hz, los

transformadores ROMAN son la mejor elección para aplicaciones de soldadura por resistencia por puntos, de prensa, por proyección, por costura y de robótica. [16]

### **3.3.2 TRANSFORMADORES CON TERMINALES SECUNDARIOS**

Este tipo de transformadores son bastante variados dentro de una normalización de dimensiones y formas, y pueden agruparse en salidas preparadas para su uso en máquinas fijas, multipunto, en instalaciones con pinzas colgantes, en pinzas para robots, etc. Estas terminales están fabricadas de cobre.



**Figura 3.12:** Transformadores con terminales secundarios.

El transformador tiene integrado generalmente un solo circuito para el agua de refrigeración, por lo que solo tiene un racor para la entrada y otro para la salida de la misma. También tiene instalado en su interior una o más bobinas auxiliares para la medición de la corriente cargada en el devanado secundario, y también en su interior tienen instalados dos termostatos de protección de sobre calentamiento, uno para la bobina del devanado primario y otro para la del devanado secundario.

### **3.4 EMPALMES Y UNIONES**

Una de las zonas a las que se debe prestar especial atención son las zonas de contacto y de unión entre las diferentes partes y dispositivos de la máquina las cuales realizan la soldadura. Los empalmes y zonas de contacto son muy susceptibles a sufrir daños, un sobrecalentamiento o mal montaje de estos puede producir un aumento en la resistencia de la zona a soldar y una disminución de corriente de soldadura, y por lo general esto provoca que estas uniones se deterioren muy rápidamente.

Los empalmes fabricados de cobre tienen menos resistencia eléctrica y se calientan menos que otros fabricados de latón. Estos empalmes o uniones de cobre son los más recomendables a utilizar para el proceso de soldadura por resistencia, ya que es por ellos

por donde se transfiere la corriente que va del transformador hacia el electrodo o porta electrodo el cual realiza la unión de las piezas por medio de la aplicación de la corriente de soldadura.

Estos empalmes deben de sujetarse debidamente utilizando tornillería adecuada como son tornillos de cuerda tipo milimétrica o estándar, rondanas planas, rondanas de presión, y en zonas donde se requiera sujetarlas pero a la vez deban de tener un aislamiento se deben de utilizar aislantes para esta tornillería como son bujes, rondanas y bases fabricadas de nylamid ó de celorón.



**Figura 3.13:** Empalmes de cobre utilizados en el proceso de soldadura por resistencia.

### **3.5 PROGRAMAS DE SOLDADURA POR RESISTENCIA**

Hasta ahora hemos hablado de los conceptos básicos que explican el principio de la soldadura por resistencia, luego surge la pregunta: ¿Cómo determinar la cantidad suficiente de corriente, la presión ejercida por los electrodos, el tiempo durante el cual fluye la corriente para soldar algún material satisfactoriamente?

Para saberlo se debe de seguir el siguiente procedimiento:

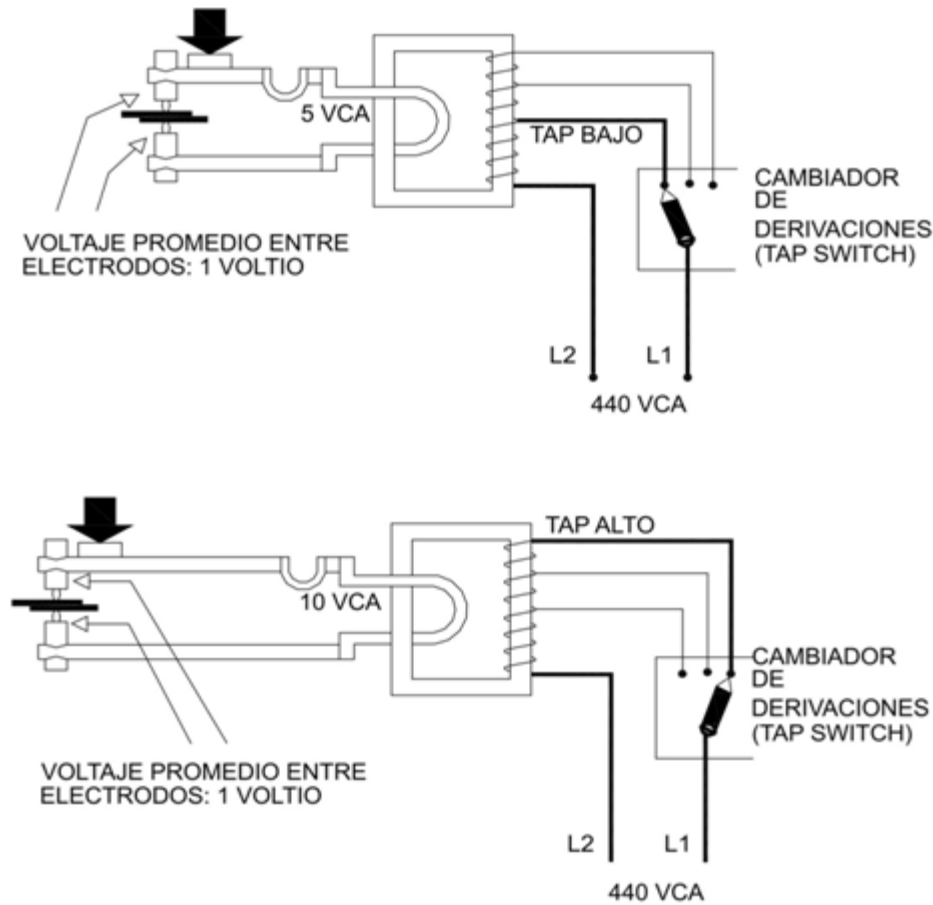
- 1) Obtener el tamaño correcto para la punta del electrodo.**
- 2) Ajustar la presión correcta.**
- 3) Ajustar el tiempo de soldadura correcto.**
- 4) Conectar la derivación (TAP) más bajo del transformador (sí lo tiene).**

En algunos casos, el transformador de soldadura tiene derivaciones (TAPS) en el devanado primario con el fin de ajustar el voltaje del devanado secundario. Tal ajuste puede ser necesario cuando:

- a) Se han modificado las dimensiones de los brazos de la máquina.
- b) Es necesario soldar materiales cuyos requerimientos de corriente difieren demasiado de los actuales. El ajuste fino de la corriente se realizará por medio del controlador de soldadura.

Se entiende que cuando las dimensiones de los brazos son modificadas, la caída de tensión a través de ellos será mayor conforme se incrementa su longitud y viceversa, por ello, es necesario incrementar el voltaje del devanado secundario del transformador para compensar la caída de tensión a través de los brazos de la máquina.

La mayoría de máquinas de pedestal incluyen transformadores de potencia con dos o más derivaciones en el devanado primario. La figura 3.14 muestra precisamente la relación entre longitud de brazos, voltaje y derivaciones.



**Figura 3.14:** Relación entre longitud de brazos, voltaje y derivaciones.

##### **5) Reducir el porcentaje de calor al valor mínimo.**

Ajustar el porcentaje de calor al valor mínimo, esto es, disminuir la corriente de soldadura a un valor bajo. La razón de esto es prevenir posibles daños en el material y/o en los electrodos por exceso de corriente.

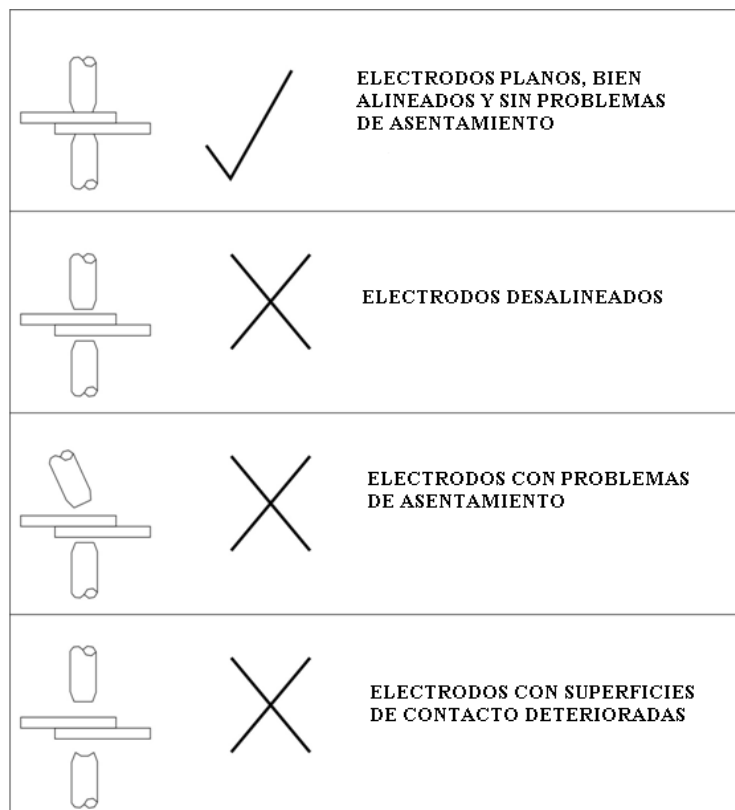
##### **6) Ajustar suficiente tiempo de acercamiento (squeeze) y de fraguado (hold).**

Recordemos que el tiempo de acercamiento es el tiempo necesario, desde el inicio de la secuencia, para que los electrodos se muevan, entren en contacto con la pieza de trabajo (láminas) y se restablezca la caída de presión antes de que la corriente empiece a fluir.

El tiempo de fraguado algunas veces se conoce como tiempo de forja, y es el periodo de tiempo en el cual los electrodos permanecen cerrados aun después de que la corriente ha cesado. Una vez que el flujo de corriente ha terminado, el punto de soldadura (pepita o lenteja) semi fundido requiere se mantenga presionado mientras se enfría.

**7) Asegurarse de que los electrodos estén correctamente planos y bien alineados.**

A continuación se muestran tres situaciones típicas en los electrodos que afectan al proceso de soldadura por resistencia (puntos).



**Figura 3.15:** Errores típicos en los electrodos cuando no se han instalado correctamente en el máquina.

**8) Incrementar el porcentaje de calor hasta obtener la soldadura adecuada o deseada.**

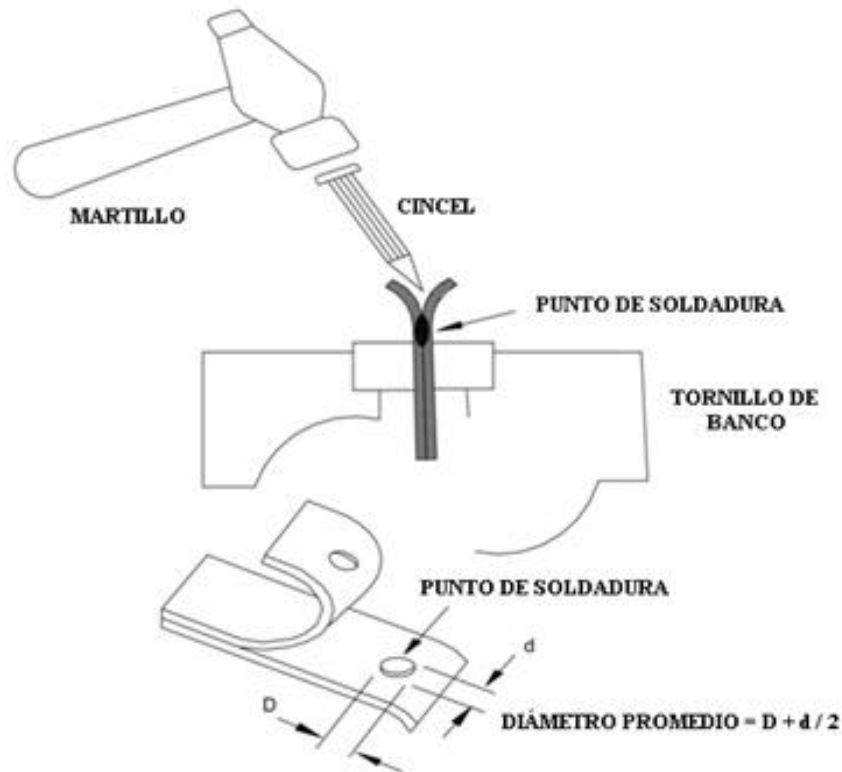
Es conveniente programar el sistema de control para que circule muy poca corriente cuando se realice el primer punto de soldadura, posteriormente se incrementará la corriente en forma gradual hasta obtener un punto de soldadura consistente.

### 9) Revisar derivaciones de corriente.

Es importante observar cuidadosamente cuando la máquina va hacia el material o viceversa, porque en numerosas ocasiones el circuito secundario de la misma, principalmente los brazos, tienen contacto con alguna pieza metálica y la derivación de corriente puede ser tan grande la cual puede afectar la consistencia y calidad del punto de soldadura.

La manera más práctica de obtener los parámetros de corriente, presión y tiempo para algún proceso de soldadura por resistencia en particular, es auxiliándose de tablas que relacionan las características del material (tipo, espesor y recubrimiento) con los parámetros de soldadura. Dichas tablas son editadas por los fabricantes de los equipos de soldadura y realizadas de acuerdo al tipo de aplicación al que sean destinados dichos equipos.

Cuando se quiera medir el diámetro del punto de soldadura, será necesario efectuar una prueba destructiva como se indica en la figura 3.16.

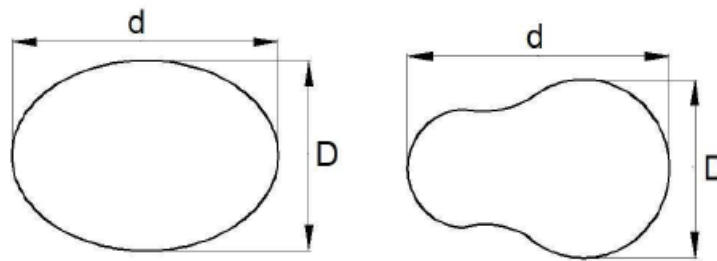


**Figura 3.16:** Prueba destructiva para medir el diámetro del punto de soldadura.

$$\text{DIÁMETRO DE LA PEPITA} = \frac{D + d}{2} \dots\dots\dots(3.1)$$

Donde:

D,d: son diámetros de soldadura.



**Figura 3.17:** Formas de medir el diámetro de un punto de soldadura.

Es importante utilizar lentes de seguridad para realizar esta prueba, el cincel no debe golpear directamente el punto de soldadura. También es muy importante efectuar pruebas visuales y de resistencia para asegurarse que los puntos de soldadura son consistentes y de buena calidad para su producción. Se recomienda realizar estas pruebas en cada una de las siguientes ocasiones:

- Al iniciar y al finalizar un turno de producción.
- Inmediatamente antes y después de reemplazar o cambiar un electrodo.
- Cada vez que algún parámetro de la máquina haya sido modificado o que alguno de sus ensambles, componentes o dispositivos haya sido cambiado.
- Inmediatamente después de haber cambiado cualquier elemento o material relacionado con el suministro de energía eléctrica.

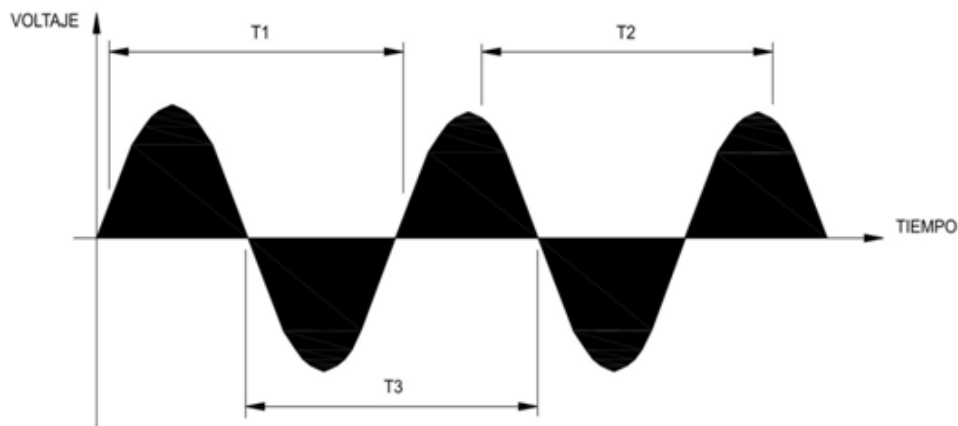
### **3.5.1 INSTRUCCIONES BÁSICAS DE UN PROGRAMA DE SOLDADURA POR RESISTENCIA**

Las instrucciones básicas de un programa de soldadura por resistencia son las siguientes:

1. **Posicionamiento:** Los materiales se colocan sobre el electrodo fijo o viceversa.
2. **Compresión (squeeze):** El electrodo móvil se mueve hasta sujetar los materiales y alcanzar la fuerza preestablecida.
3. **Soldar (weld):** La corriente de soldadura empieza a circular a través de los electrodos y simultáneamente se incrementa muy rápido la temperatura entre láminas hasta lograr se fusión.

4. **Fraguar (hold):** Luego de que los materiales se funden entre sí, es necesario esperar algún tiempo a fin de que los materiales se enfríen bajo la presión de los electrodos.
5. **Apertura (off):** Cuando la zona de fusión se ha enfriado lo suficiente, entonces es posible separar los electrodos y el punto de soldadura habrá quedado concluido. El tiempo de apertura solo se establece cuando la máquina trabaja en modo automático

Cada una de estas instrucciones toma valores de tiempo en términos de ciclos del voltaje que suministra el controlador de soldadura. En particular la instrucción **Soldar** consta de dos parámetros: **Tiempo** durante el cual circula corriente e intensidad de **corriente**.



**Figura 3.18:** Voltaje senoidal suministrado a los controladores de soldadura.

### **3.6 SISTEMA DE MEDIA FRECUENCIA**

El uso de los diferentes dispositivos electrónicos programables para la conmutación de potencia eléctrica han permitido la introducción de una mejora notable en los procesos de soldadura por resistencia, tal mejora lleva por nombre sistema de media frecuencia, la cual incorpora un modulo electrónico de potencia con una alta eficiencia y el resultado de este sistema son máquinas con transformador de soldadura mucho más ligero y compacto que además, ofrece excelentes características de soldadura y un menor consumo de energía eléctrica.

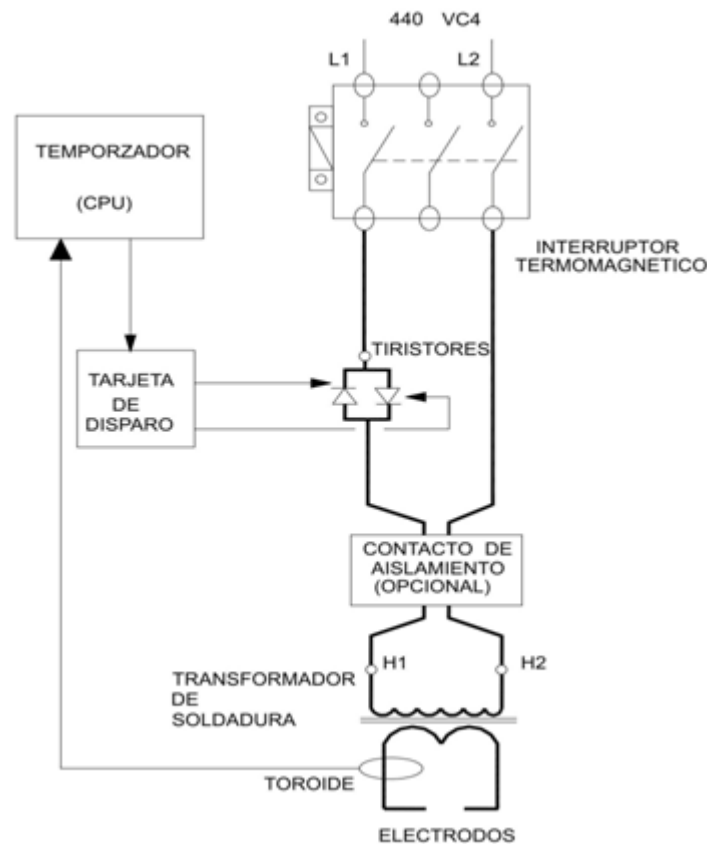
El termino MEDIA FRECUENCIA (en Europa) ó ALTA FRECUENCIA (en América), se debe a la frecuencia del voltaje aplicado al transformador de soldadura, que generalmente es de 1000 Hz en Europa y de 1200 Hz en América. Sin embargo, el voltaje aplicado finalmente a los electrodos es de corriente directa.

El uso de corriente directa en el proceso de soldadura por resistencia obtenida rectificando un voltaje alterno de 1000 o 1200 Hz, se ha incrementado gracias a las numerosas ventajas que esta ofrece comparada con otros métodos tradicionales tales como:

- Corriente alterna a 50 o 60 Hz
- Corriente directa obtenida rectificando voltaje alterno a 50 o 60 Hz
- Una descarga capacitiva.

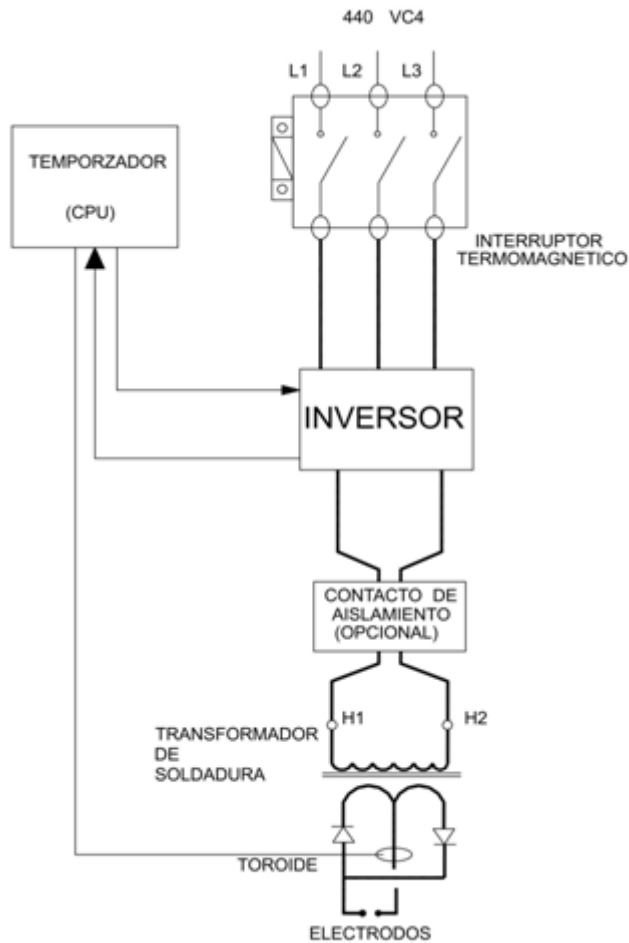
### 3.6.1 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

El controlador de soldadura que maneja un transformador de media frecuencia es básicamente diferente a cualquier controlador estándar que trabaja con corriente alterna, debido a que los tiristores son remplazados por un modulo de potencia llamado INVERSOR. A continuación se muestran dos esquemas que representan un controlador de corriente alterna de 50/60 Hz y otro de media frecuencia.



**Figura 3.19:** Esquema general de un controlador y transformador de soldadura que trabajan con corriente alterna a 60 Hz.

Nótese que solo se requieren dos fases del suministro principal de energía, y una de estas fases es controlada por el módulo de tiristores.



**Figura 3.20:** Esquema general de un controlador y transformador de soldadura para media frecuencia.

A manera de resumen, se pueden enunciar tres diferencias eléctricas fundamentales entre controladores con tiristores y de media frecuencia (MF):

- Los equipos de MF requieren de tres fases del suministro principal (línea) en lugar de dos.
- Utilizan un inversor en lugar de tiristores.
- Requieren de un transformador de soldadura especial que además incorpore diodos rectificadores en el circuito secundario del transformador.

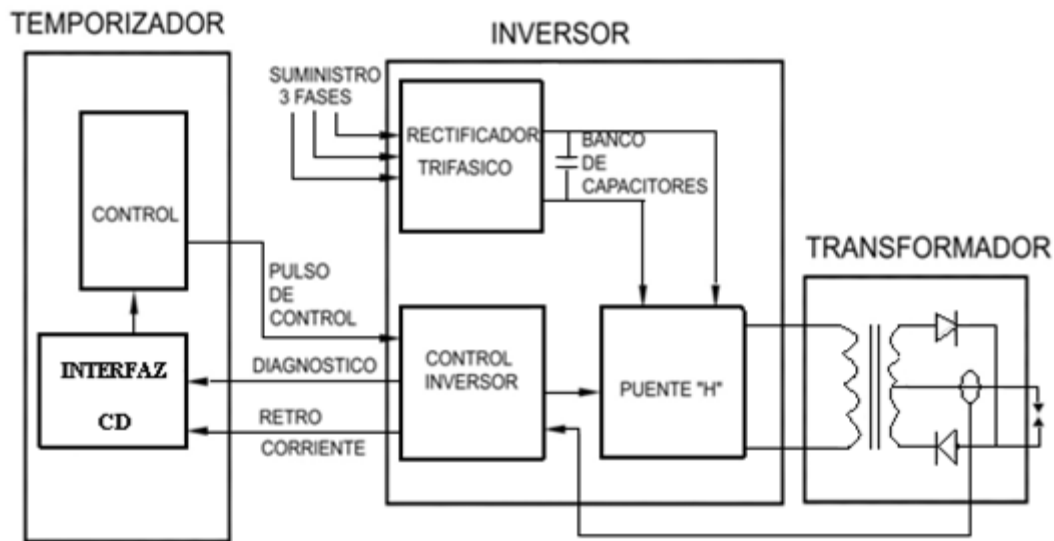
El propósito del inversor es tomar las tres fases que suministra la planta de energía eléctrica y producir corriente alterna a una frecuencia de 1000 o 1200 Hz para alimentar al transformador de soldadura.

El voltaje aplicado a los electrodos es de corriente directa el cual es generado por los diodos que se encuentran en el circuito secundario del transformador. La potencia para el

transformador es controlada por el inversor y este a su vez es controlado por el temporizador principal (también llamado **timer**).

El temporizador obedece a una secuencia de soldadura previamente programada. Esta secuencia se ejecuta cuando el temporizador recibe una señal externa al inicio de la misma.

En la figura 3.21 se muestra un diagrama a bloques de un controlador de soldadura para media frecuencia.



**Figura 3.21:** Diagrama a bloques de un controlador de soldadura para media frecuencia.

La primera etapa del inversor es la fuente de corriente directa, esta fuente se compone de un rectificador trifásico de onda completa tipo puente que produce aproximadamente 600 voltios de corriente directa pulsante, y debe ser filtrada precisamente para obtener un voltaje más constante, es decir, libre de fluctuaciones.

Este voltaje se filtra por medio de un banco de capacitores, y respecto al mismo es muy importante la siguiente consideración de seguridad:

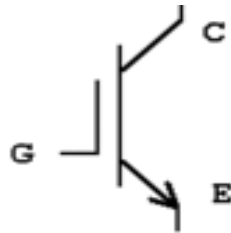
Los capacitores permanecen cargados aun después de que el interruptor principal del controlador se ha abierto y la energía almacenada en ellos es de magnitud sumamente peligrosa para cualquier persona. Sin embargo, el inversor dispone de un circuito que los descarga automáticamente en un lapso de tiempo que dependiendo del fabricante del mismo, varía de entre unos cuantos segundos hasta cinco minutos.

Esta fuente de corriente directa (CD) alimenta a cuatro transistores de potencia del tipo IGBT conectados entre sí en una configuración llamada **puente H**.

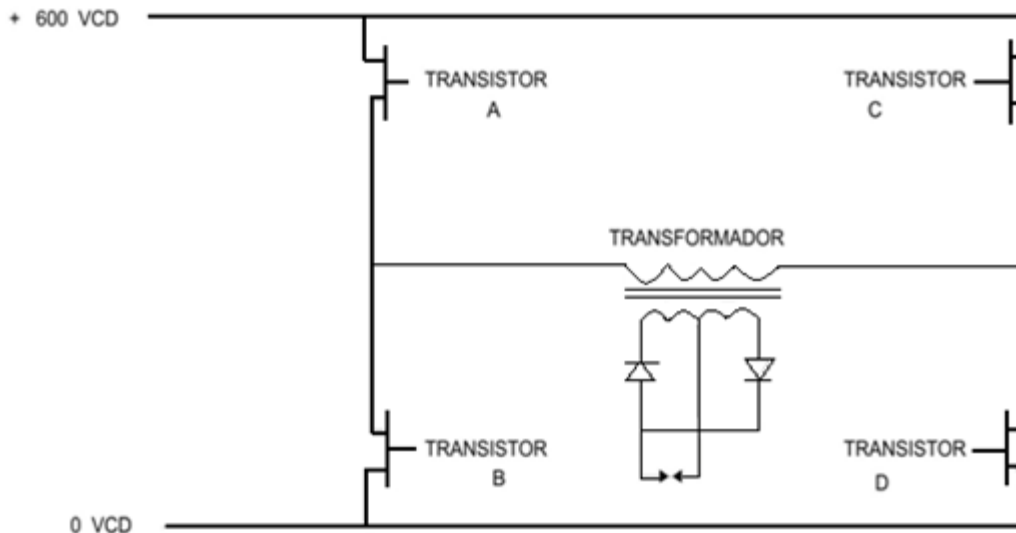
**El transistor bipolar de puerta aislada (IGBT)** es un dispositivo semiconductor que generalmente se aplica como interruptor controlado en circuitos de electrónica de potencia.

Los transistores IGBT han permitido desarrollos que no habían sido posibles anteriormente, en particular en los variadores de frecuencia, así como en aplicaciones en máquinas eléctricas y convertidores de potencia. El IGBT es adecuado para velocidades de conmutación de hasta 20 KHZ, también es usado en aplicaciones de altas y medias energías como fuente conmutada y para el control de la tracción en motores.

Este transistor, es un dispositivo para la conmutación en sistemas de alta tensión. La tensión de control de puerta es de unos 15V. Esto ofrece la ventaja de controlar sistemas de potencia aplicando una señal eléctrica de entrada muy débil en la puerta. Grandes módulos de IGBT consisten en muchos dispositivos colocados en paralelo que pueden manejar altas corrientes del orden de cientos de amperios con voltajes de bloqueo de 6000 voltios.



**Figura 3.22:** Símbolo del transistor IGBT: puerta (G), colector (C) y emisor (E).



**Figura 3.23:** Arreglo de transistores en configuración puente H.

Cuando el temporizador recibe la señal de inicio, este a su vez envía las señales correspondientes a la tarjeta de control del inversor la cual activara a los transistores A y D hasta que la corriente de soldadura alcance el valor requerido.

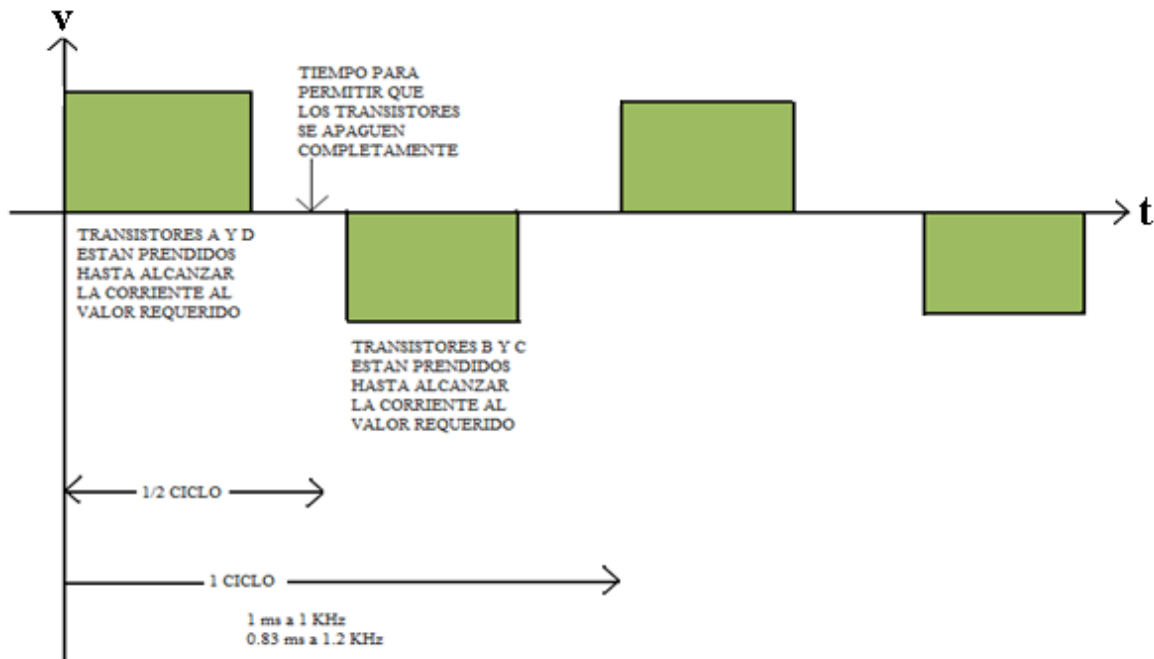
Cuando los transistores se apagan, la energía producida por el transformador debido a la desconexión es absorbida por el banco de capacitores. Luego se activan los transistores B y

C hasta que la corriente de soldadura alcance el valor requerido, los transistores B y C energizan al transformador con polaridad opuesta.

De esta forma, la conmutación de los pares de transistores continúa dando como resultado un voltaje alterno con una frecuencia de 1000 o 1200 Hz. La corriente de soldadura es regulada ajustando en ancho de la onda (pulso) del voltaje aplicado al transformador de soldadura

Debido a la frecuencia de operación, los equipos de media frecuencia alcanzan la corriente de soldadura programada en menos tiempo que los controles con tiristores que trabajan a 60 Hz. La explicación es simple, cuando la frecuencia es de 60 Hz un periodo (ciclo) dura 16.666 ms y cuando es a 1200 Hz el periodo (ciclo) dura 0.833 ms, esto es 20 veces menos.

Así podemos comprobar que los controladores de media frecuencia son más rápidos regulando la corriente de soldadura a comparación de los controladores con tiristores.



**Figura 3.24:** Formas de onda correspondientes al voltaje que el inversor suministra al transformador de soldadura.

Cuando el inversor tiene que disminuir la corriente de soldadura, la función del control del mismo es disminuir el ancho del pulso y viceversa del voltaje aplicado al transformador de soldadura, sin embargo la frecuencia permanece constante.

El objetivo principal del inversor de incrementar la frecuencia de línea a 1000 o a 1200 Hz para alimentar al transformador de soldadura es reducir las dimensiones y peso del núcleo del mismo, por ejemplo: un transformador ISO de media frecuencia que trabaja que trabaja a 100 KVA-1000 Hz utilizado en una pistola de punteo manual, es aproximadamente un 30% más

corto y un 50% más ligero que un transformador ISO que trabaja a 103 KVA-50Hz para el mismo propósito.

Incrementar la frecuencia del voltaje primario del transformador permite reducir las dimensiones del mismo, pero al mismo tiempo presenta un problema, la inductancia del circuito secundario del transformador se incrementa notablemente.

**La inductancia** es una medida de la capacidad que tienen las bobinas para oponerse a cualquier cambio de corriente, la inductancia de una bobina cualquiera que sea su tipo de aplicación: en motores, toroides, solenoides y en transformadores, está en función de las dimensiones de la misma y del tipo de material utilizado para la fabricación de su núcleo.

**La reactancia inductiva** es la oposición que presentan las bobinas al flujo de corriente, debido al continuo intercambio de energía entre la fuente de alimentación y el campo magnético de la misma. Esta oposición se mide en ohms y se calcula mediante la ecuación 3.2:

$$X_L = 2 \pi f L \dots \dots \dots (3.2)$$

Donde:

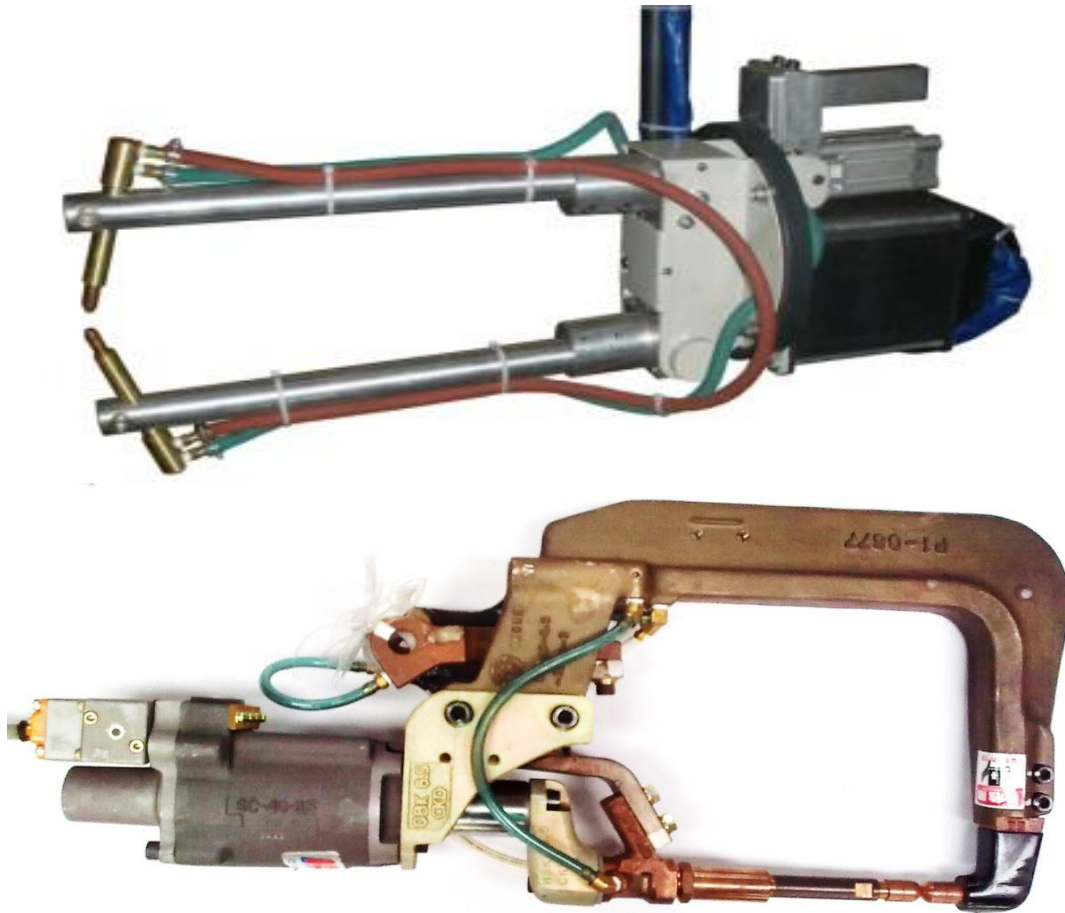
- $X_L$  = Reactancia inductiva medida en ohms ( $\Omega$ ).
- $f$  = Frecuencia del voltaje aplicado medida en Hertz (Hz).
- $L$  = Inductancia de la bobina medida en Henrios (H).

En particular, cuando se trata de pistolas para soldadura por puntos es evidente que conforme crecen las dimensiones de los brazos de las mismas, se incrementa el área entre estos y en consecuencia también se incrementa la inductancia del circuito secundario del transformador, su reactancia inductiva y su resistencia eléctrica. La combinación de ambas oposiciones se llama **impedancia (Z)** y se calcula mediante la ecuación 3.3:

$$Z = R + j X_L \dots \dots \dots (3.3)$$

Donde:

- $Z$  = Impedancia
- $R$  = Resistencia medida en ohms ( $\Omega$ ).
- $X_L$  = Reactancia inductiva medida en ohms ( $\Omega$ ).

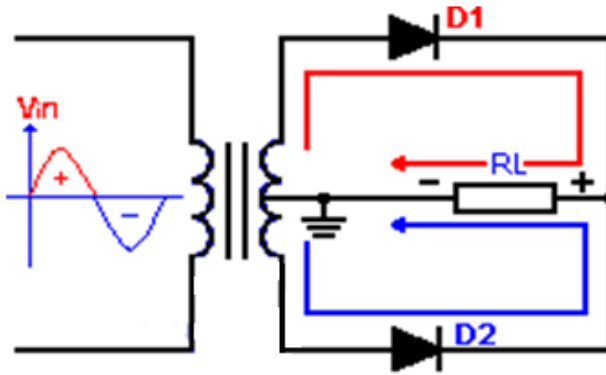


**Figura 3.25:** Incremento de área entre brazos de pistolas para soldadura por puntos.

En pistolas para soldeo por puntos, incrementar las dimensiones de los brazos también eleva las pérdidas de corriente por efectos reactivos y resistivos, peor aún, cuando la frecuencia en los transformadores es de 1000 o 1200 Hz de corriente alterna. Pero cuando la corriente de soldadura es de corriente directa, la frecuencia del transformador es cero y los efectos reactivos desaparecen, el resultado de todo esto es un equipo más eficiente.

Para evitar pérdidas de corriente en el transformador de soldadura debido a la reactancia inductiva de sus bobinas, es que se instala un circuito rectificador de onda completa con derivación central en el circuito secundario del transformador, de esta forma se obtiene la corriente directa para soldar.

En la figura 3.26 se muestra un circuito rectificador de onda completa con derivación central.



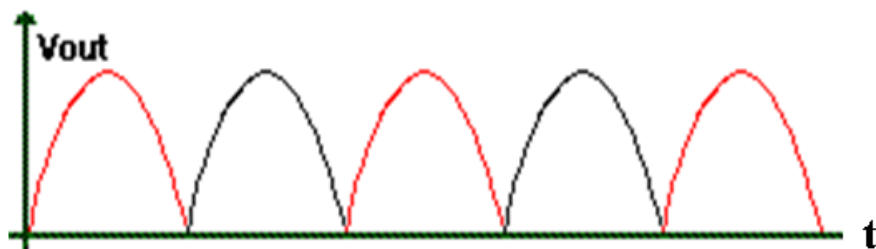
**Figura 3.26:** Circuito rectificador de onda completa con derivación central.

Este tipo de **rectificador** necesita un transformador con derivación central. La derivación central es una conexión adicional en el bobinado secundario del transformador, que divide la tensión (voltaje) en este bobinado en dos voltajes iguales. Esta conexión adicional se pone a tierra.

Durante el semiciclo positivo de la tensión en corriente alterna el diodo D1 conduce. La corriente pasa por la parte superior del secundario del transformador, por el diodo D1 por RL y termina en tierra. El diodo D2 no conduce pues está polarizado en inversa.

Durante el semiciclo negativo el diodo D2 conduce. La corriente pasa por la parte inferior del secundario del transformador, por el diodo D2 por RL y termina en tierra. El diodo D1 no conduce pues está polarizador en inversa.

Ambos ciclos del voltaje de entrada son aprovechados y el voltaje de salida se verá como en la figura 3.27.



**Figura 3.27:** Voltaje de salida de un rectificador de onda completa con derivación central.

Si los transformadores no tienen el enfriamiento adecuado, los diodos que componen su circuito rectificador pueden dañarse fácilmente, los transformadores que generalmente se utilizan en pistolas para soldeo por puntos requieren de 7.5 litros por minuto para su enfriamiento, y la temperatura del agua no debe de exceder los 30° C.

El transformador incluye dos termostatos y es muy importante mantenerlos siempre conectados al controlador de soldadura para detener el proceso ante cualquier sobrecalentamiento del transformador.

### **3.6.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE MEDIA FRECUENCIA**

#### **VENTAJAS:**

1. El peso y tamaño del transformador de soldadura es notablemente menor.
2. La carga se distribuye uniformemente en las tres fases del suministro principal a 440 VCA.
3. El equipo ofrece un buen factor de potencia (de 0.8).
4. El equipo representa una carga capacitiva debido al banco de capacitores que hay dentro del inversor del controlador de soldadura, esta situación mejora el factor de potencia del equipo considerando que las cargas son generalmente inductivas.
5. El equipo ofrece una alta velocidad de respuesta en modo corriente constante, el controlador de soldadura puede hacer ajustes para mantener constante la corriente programada.
6. El equipo es eléctricamente más eficiente debido a que no presenta pérdidas por efectos reactivos. La carga del circuito secundario es puramente resistiva.
7. Es imposible programar tiempos de soldadura menores a 8.33 ms (1/2 ciclo).

#### **DESVENTAJAS:**

1. Se incrementa el costo del control y del transformador.
2. El banco de capacitores que se encuentra dentro del inversor del controlador solamente tiene una vida útil de 20,000 horas.
3. El banco de capacitores puede permanecer cargado durante 5 minutos aun después de desconectar el suministro principal de energía eléctrica del equipo.

## **CAPITULO 4**

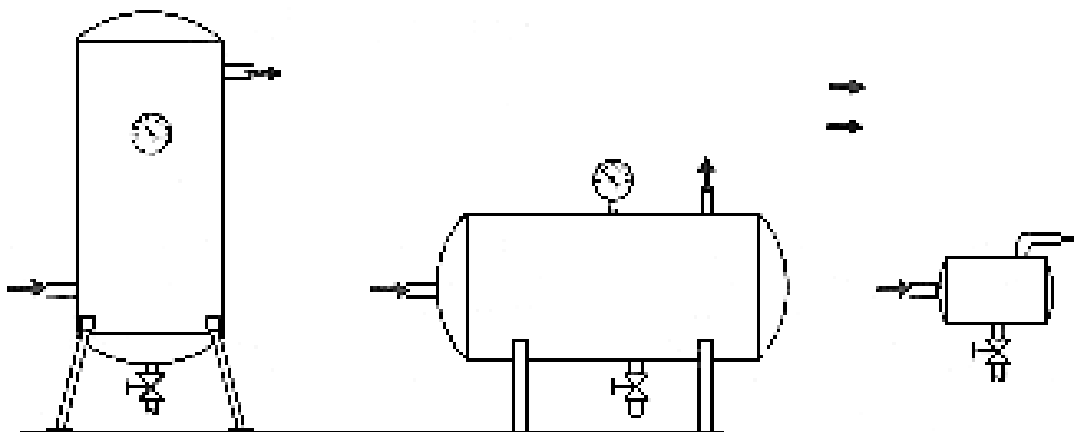
# **SISTEMA NEUMÁTICO Y DE ENFRIAMIENTO DE LA SOLDADURA POR RESISTENCIA**

## 4.1 CONTROL DE FUERZA DE SOLDADURA

La **neumática** es el medio impulsor el cual permite desarrollar los trabajos de fuerza a una alta velocidad y eficiencia mediante la utilización de **aire comprimido**. El aire comprimido es aire atmosférico el cual ha sufrido un proceso de compresión, tiene energía de presión acumulada entregada en la compresión que se transforma en trabajo mecánico al realizar un trabajo la cual es usada para controlar procesos de regulación, mando o medición. La energía usada al comprimir el aire solo se transforma parcialmente en energía de presión.

Para generar aire comprimido se requiere de una máquina generadora del mismo la cual se le conoce con el nombre de **compresor**, un compresor sirve como portador de energía neumática la cual nos sirve para realizar trabajos y movimientos de alta fuerza y velocidad.

El aire comprimido es el encargado de generar la fuerza de soldadura, la cual es realizada por medio de un cilindro o actuador neumático.



**Figura 4.1:** Compresores generadores de aire comprimido.

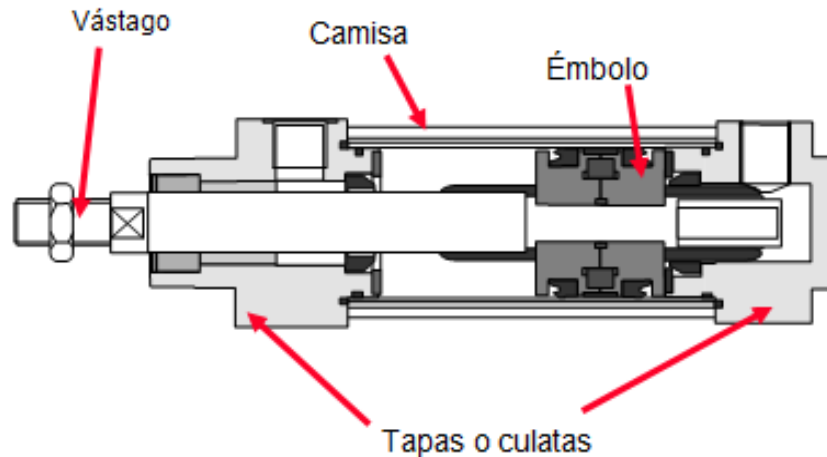
Para realizar un control de fuerza de soldadura eficiente, se requieren de algunos dispositivos neumáticos los cuales describiremos a continuación:

### 4.1.1 ACTUADORES NEUMÁTICOS

Los actuadores son aquellos que realizan directamente el trabajo dentro de un sistema automático o semiautomático. Los tipos de actuadores están contruidos según las características propias de la aplicación. Las características genéricas de un actuador son:

- Principio operativo (doble efecto - simple efecto)
- Diámetro del émbolo
- Carrera de desplazamiento

Un actuador neumático del tipo cilíndrico está compuesto de los siguientes elementos:



**Figura 4.2:** Partes de un actuador (cilindro) neumático.

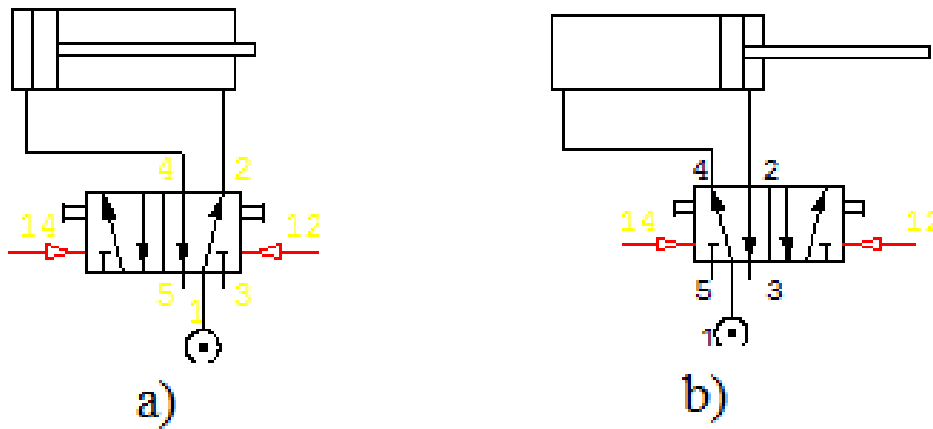
Los actuadores o cilindros neumáticos son los que sujetan o sostienen a las piezas a soldar durante la secuencia de soldadura, y también son los que realizan la fuerza de la misma.

#### **4.1.2 ELECTROVÁLVULAS**

El desplazamiento de un actuador, ya sea hacia adelante o hacia atrás se lleva a cabo a través de las electroválvulas de vías. En un circuito neumático, estas electroválvulas funcionan como interruptores o conmutadores por las cuales circula aire el cual será transmitido a los actuadores neumáticos.

Por ejemplo, un actuador neumático de doble efecto será controlado por medio de una válvula 5/2 (5 vías/2 posiciones), sin importar su accionamiento.

En la figura 4.3 se puede observar a la válvula 5/2 en su posición normal de reposo, el aire de suministro entra por el puerto no. 1 y cruza hasta el puerto no. 2, el aire empuja al émbolo hacia atrás. En la figura de la derecha la válvula a cambiado de posición y ahora el aire de suministro sale por el puerto no. 4 empujando al émbolo hacia adelante, mientras tanto el aire que estaba contenido en al otro lado de la cámara del actuador, sale desfogado por el puerto no. 3.

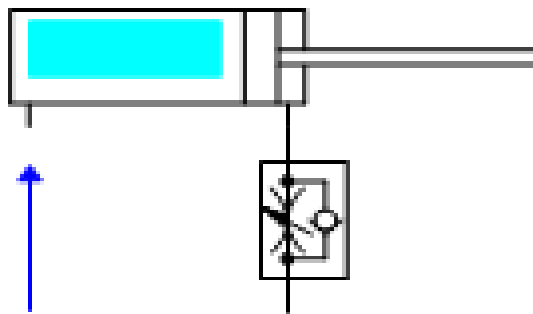


**Figura 4.3:** a) posición de retroceso del pistón (normal), b) posición de avance del pistón.

### 4.1.3 REGULACIÓN DE VELOCIDAD DE LOS ACTUADORES NEUMÁTICOS

Una condición más que se les establece a los actuadores para su desplazamiento es la velocidad, esto es debido a que para algunas aplicaciones el actuador podría en lugar de desplazar, golpear la pieza o arrojarla al aire por la inercia que maneja. Es por esto la importancia de poder reducir su velocidad, sin embargo, una excesiva disminución de la misma, traerá como consecuencia un aumento en el tiempo de producción de la máquina ocasionando una elevación de costos.

Para controlar la velocidad de un actuador debe regularse el aire que escapa por la cámara contraria al movimiento. La forma más adecuada de controlar la velocidad de los actuadores, es regulando el aire que escapa de la cámara contraria a la que se llena. El efecto provocado, es una contrapresión que frena al actuador, pero en esta ocasión permite manipular la velocidad de manera uniforme y precisa.



**Figura 4.4:** Regulación de velocidad de un actuador neumático.

La regulación de velocidad de los actuadores es realmente sencilla, pero es necesario seleccionar los componentes adecuados para la optimización del sistema neumático. Para

regular la velocidad de un actuador se requiere de un dispositivo llamado **regulador de presión**.

Un regulador de presión tiene la misión de mantener en línea la presión constante en el sistema, aun si la red de alimentación principal de energía (compresor) tiene presiones de valor oscilante y consumos variables. El regulador de presión también se encarga de regular la fuerza y la velocidad de cierre y apertura de los cilindros o actuadores neumáticos.



**Figura 4.5:** Válvula reguladora de presión de aire.

El regulador de presión va conectado en los conductos de aire comprimido que van hacia el cilindro neumático, su principal función es regular la velocidad de movimiento de cierre y apertura de dicho cilindro.



**Figura 4.6:** Reguladores de presión de aire para cilindros neumáticos.

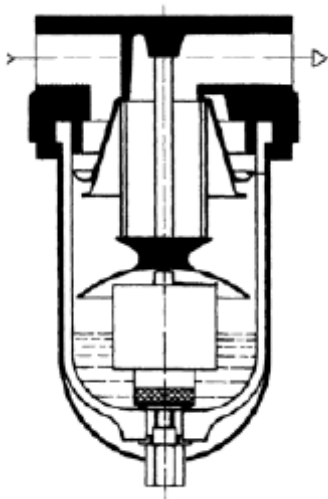
#### **4.1.4 FILTRO DE AIRE**

El aire comprimido transporta frecuentemente una cierta cantidad de agua libre, agua que se precipita en el sistema de tuberías en la forma de condensado, lo que puede producir la corrosión de los equipos conectados a dicho sistema.

Esta humedad puede existir aún cuando se utilicen sistemas de secadores de aire, claro está que en una cantidad mucho menor. Así mismo, el aire comprimido transporta partículas desprendidas de las paredes de las tuberías y partículas de desgaste del compresor, que en consecuencia originan atascamientos, desgastes y averías en los equipos de trabajo en utilización.

La eliminación de las partículas contenidas en el aire comprimido se puede hacer por medio de filtros de aire. Los filtros de aire pretenden obstaculizar el paso de estas impurezas, reteniéndolas en su cuerpo. Una vez que el cuerpo filtrante se ha saturado con las partículas contaminantes, este deberá de ser reemplazado o limpiado.

El filtro de aire ilustrado en la figura 4.7 tiene la misión de liberar al aire comprimido circulante de todas las impurezas líquidas y sólidas (suciedad, agua, aceite) en suspensión, y así evitar un daño o un mal funcionamiento de los dispositivos neumáticos de control de fuerza de soldadura.

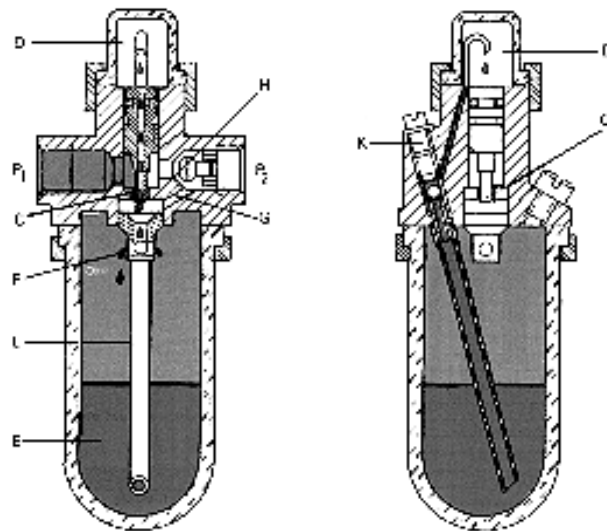


**Figura 4.7:** Filtro de aire utilizado para la liberación de impurezas contenidas en el aire comprimido.

#### **4.1.5 LUBRICADOR**

La mayor parte de los equipos neumáticos requieren de lubricación, el lubricante se suministra generalmente con el aire comprimido, y esto no sólo reduce la fricción entre las partes móviles, sino que además, el aceite protege a los equipos contra la corrosión interna y produce sellados interiores mucho más efectivos.

El lubricador mostrado en la figura 4.8 tiene por misión lubricar a todos los componentes de trabajo y de control integrados en el sistema neumático de la máquina soldadora por resistencia como son los cilindros, electroválvulas, mangueras y reguladores de presión. El aporte de aceite se logra a través de un tubo de ascenso, del cual cae al flujo de aire en forma de gotas, y debido a la alta velocidad traída por el aire se pulveriza.



**Figura 4.8:** Unidad de lubricación.

El filtro, regulador de presión y el lubricador se usan generalmente como unidades de preparación de aire comprimido (unidad de mantenimiento), y siempre es conveniente que se instalen a la entrada del sistema neumático de la máquina.

Esto solo es necesario cuando el aire no cumple con la calidad correspondiente, y la unidad de mantenimiento debe adaptarse al consumo de aire previsto en el sistema neumático de la máquina.



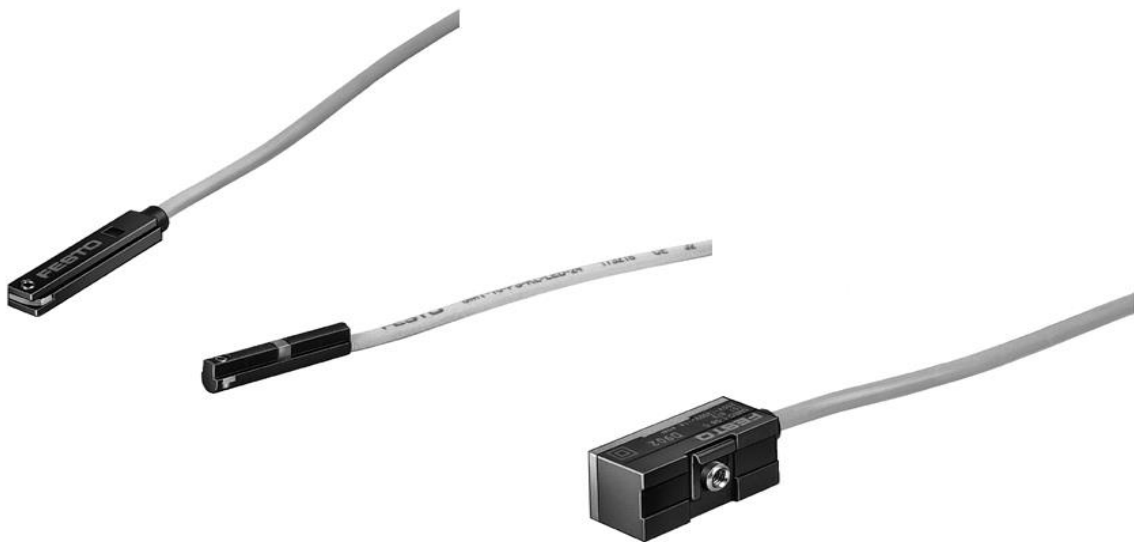
**Figura 4.9:** Unidad de mantenimiento (filtro, regulador e indicador de presión, y el lubricador).

## **4.1.6 SENSOR MAGNÉTICO**

Es un dispositivo electrónico el cual permite detectar con facilidad los finales de carrera de los cilindros neumáticos. El sensor magnético es un interruptor de proximidad que se activa con un campo magnético externo.

El sensor magnético le indica al controlador de soldadura cuando ya la carrera del cilindro ha sujetado las piezas a soldar y que estas se encuentren correctamente posicionadas para que así, el controlador de inicio a la secuencia de soldadura mediante una señal eléctrica.

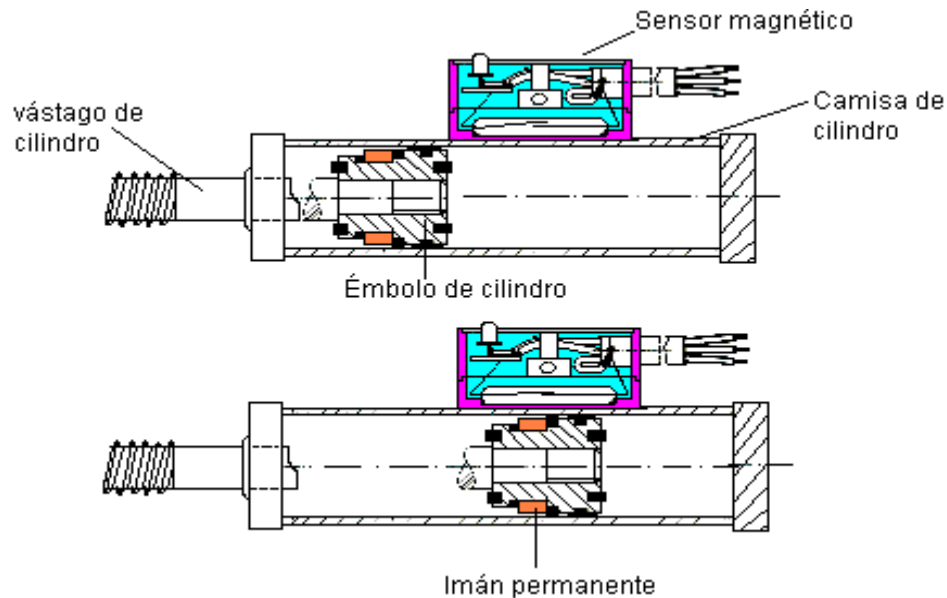
En la figura 4.10 se muestran tres diferentes tipos de sensores magnéticos utilizados para detectar finales de carrera de los cilindros neumáticos.



**Figura 4.10:** Sensores magnéticos utilizados para detectar finales de carrera de cilindros neumáticos.

El sensor magnético se monta directamente sobre la camisa del actuador neumático a través de cinchos y sujeciones especialmente diseñadas para tal uso. Es importante señalar que este sensor únicamente operará sobre actuadores con émbolo magnético.

En la figura 4.11 se muestra como va montado y sujetado un sensor magnético sobre la camisa de un cilindro neumático.



**Figura 4.11:** Montaje de un sensor magnético sobre la camisa del cilindro neumático.

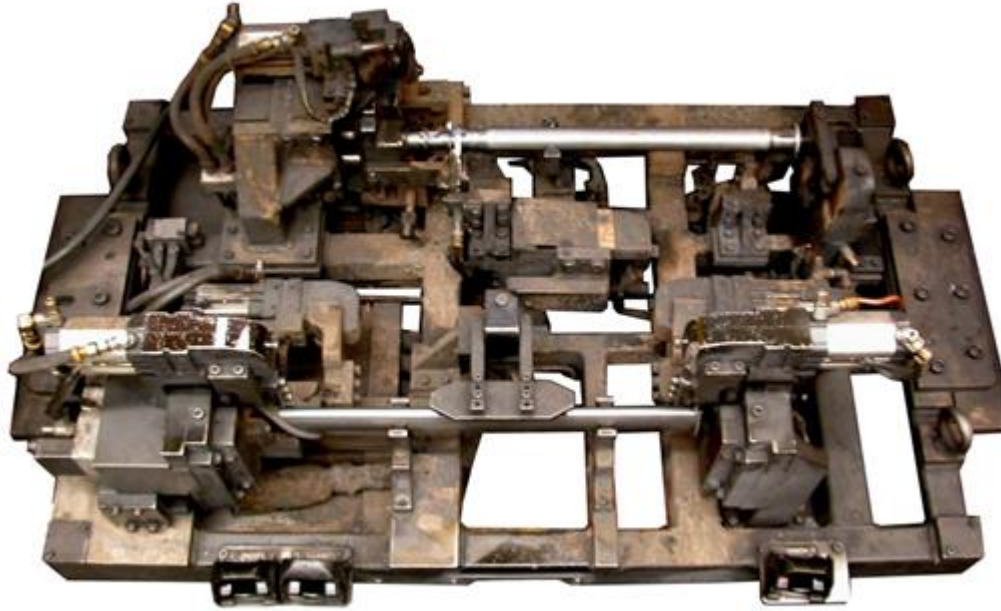
## **4.2 SISTEMAS NEUMÁTICOS**

Todos los equipos de soldadura por resistencia tienen integrado un sistema o circuito neumático el cual está formado por actuadores neumáticos, electroválvulas, reguladores e indicadores de presión, filtros, tuberías, mangueras y conexiones.

**El sistema neumático** es el encargado de realizar y controlar la fuerza de la soldadura, y también se encarga de sujetar las piezas metálicas a soldar mediante pistones o cilindros neumáticos utilizados para realizar los ensambles y soldeo de respaldos y asientos automotrices, el cual dentro de la industria automotriz se le conoce como **herramental**.

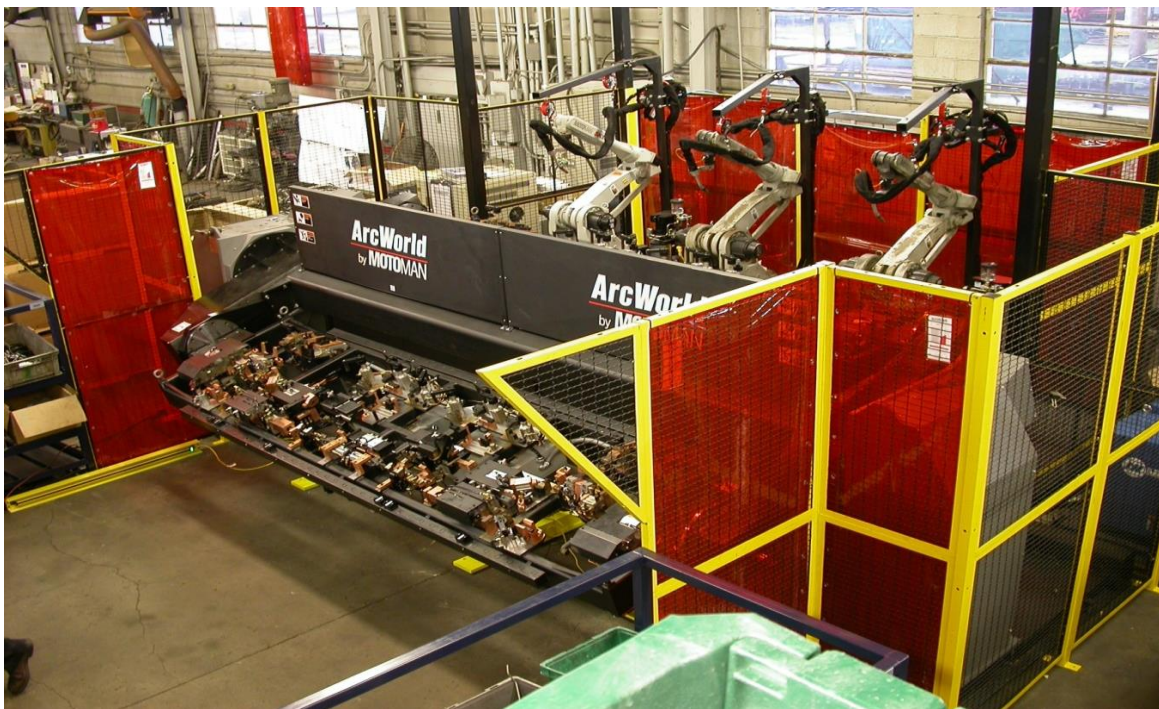
A continuación se muestran algunos sistemas neumáticos básicos utilizados en las máquinas y herramientas de soldadura por resistencia utilizados en la industria automotriz.

En la figura 4.12 se muestra un sistema neumático dentro de un herramental de soldadura por resistencia utilizado sujetar y ensamblar las diferentes piezas metálicas a soldar para la fabricación y soldeo del asiento del New Beetle de Volkswagen fabricado en la empresa automotriz Johnson Controls Planta Tlaxcala.



**Figura 4.12:** Sistema neumático utilizado en herramientas giratorias de soldeo de tubo y travesaño del asiento NB (New Beetle) de Volkswagen.

En la figura 4.13 se muestra un sistema neumático dentro de un herramienta de soldadura utilizado para el soldeo y sujeción de piezas metálicas del respaldo trasero del modelo Jetta A4 de Volkswagen fabricado en la empresa automotriz Johnson Controls Planta Tlaxcala.



**Figura 4.13:** Sistema neumático utilizado en herramientas de soldadura giratorias dentro de una celda triple robotizada de la empresa automotriz Johnson Controls Planta Tlaxcala.

En la figura 4.14 se muestra un sistema neumático de un herramienta de soldadura por puntos utilizado para el ensamble y soldeo de piezas metálicas de un respaldo delantero lado izquierdo del modelo Bora A5 de Volkswagen fabricado en la empresa Johnson Controls Planta Tlaxcala dentro de una celda doble robotizada.



**Figura 4.14:** Sistema neumático utilizado en herramientas de soldeo de celdas dobles robotizadas para sujetar las piezas metálicas a soldar de un respaldo delantero lado izquierdo del modelo Bora A5.

En la figura 4.15 se muestra un sistema neumático de un herramienta de soldadura por puntos utilizado para el ensamble y soldeo de piezas metálicas de un respaldo delantero lado derecho del modelo Bora A5 de Volkswagen fabricado en la empresa Johnson Controls Planta Tlaxcala dentro de una celda doble robotizada.

**Celda** es el área enrejada en donde se encuentran ubicados y posicionados los robots y los herramientas de soldadura de los mismos.



**Figura 4.15:** Sistema neumático utilizado en herramientas de soldeo de celdas dobles robotizadas para sujetar las piezas metálicas a soldar de un respaldo delantero lado derecho del modelo Bora A5.

### **4.3 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO Y REFRIGERACIÓN**

Uno de los principios de la soldadura por resistencia es generar el calor en la zona de soldadura en el menor tiempo posible, a fin de que el calor disipado a través del sistema de enfriamiento (circulación de agua) sea el menor posible.

Todo el calor que se genera fuera de la zona de soldadura es indeseable y se debe disminuir lo más que se pueda, para lograrlo se instalan en los equipos de soldadura por resistencia sistemas de enfriamiento a base de agua y se utilizan materiales con baja resistencia eléctrica en la construcción del circuito eléctrico de la máquina tales como el cobre, latón o bronce.

El agua debe de estar limpia y libre de impurezas orgánicas e inorgánicas las cuales pueden causar atoramientos parciales o totales durante la circulación de la misma. El caudal de agua necesario en el sistema de enfriamiento y refrigeración de una máquina de soldadura por resistencia viene indicado por el fabricante de la misma.

En la figura 4.16 se muestra un circuito de refrigeración utilizado en máquinas de pedestal y de sobre mesa.



**Figura 4.16:** Circuito de refrigeración de maquinas de pedestal y de sobre mesa.

### **4.3.1 REFRIGERACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE POTENCIA**

La refrigeración y enfriamiento de los dispositivos de potencia que se encuentran instalados dentro de la máquina como son los SCRs, transformadores, electrodos y porta electrodos es muy importante y se debe de tener un cuidado muy especial en ello, ya que si alguno de estos dispositivos no se encuentra refrigerado adecuadamente, y al momento de que la máquina realice la secuencia de soldadura estos pueden sufrir un daño muy severo lo cual provocaría una inutilización y remplazo del mismo.

Es muy importante revisar que el sistema de enfriamiento se encuentre funcionando correctamente todo el tiempo, esto lo podemos lograr instalando **indicadores de flujo de agua** en las tuberías de suministro de agua de los dispositivos de potencia, estos indicadores nos permitirán saber si el dispositivo de potencia se encuentra refrigerado o no y también nos indicaran si hay flujo de agua dentro de las tuberías.



**Figura 4.17:** Indicadores de flujo de agua.

Los indicadores de flujo están diseñados para supervisar gas, aire, aceite, agua y otros líquidos a velocidades de flujo máximas y mínimas. La acción es sencilla y muy visible.

El flujo que pasa a través de la unidad hace que la esfera blanca oscile en la cámara. Si el flujo disminuye, la esfera desaparece del campo de visión. El movimiento de la esfera se ve con claridad incluso en zonas con iluminación deficiente y a distancias significativas. Sólo tiene una parte móvil, la esfera, y no hay prácticamente nada que pueda fallar.

### **4.3.2 SENSOR DE FLUJO DE AGUA**

El **sensor de flujo de agua** es un dispositivo electrónico el cual va instalado en la tubería de suministro principal de agua de la máquina, el cual nos permite determinar si está o no circulando o fluyendo agua dentro de las tuberías y mangueras instaladas en el sistema de enfriamiento de la misma.

Si el sensor de flujo de agua detecta que no hay flujo dentro de la máquina, el sistema de control de soldadura no permitirá que la máquina realice la secuencia de soldadura, todo esto con la finalidad de evitar daños severos en los dispositivos de potencia instalados dentro de la máquina y para proteger a todo el sistema de soldadura.

En la figura 4.18 se muestra un sensor de flujo de agua el cual va instalado a la entrada del sistema de enfriamiento de la máquina, que detecta la presencia y la introducción de flujo en las tuberías.



**Figura 4.18:** Sensor electrónico indicador de flujo de agua.



**Figura 4.19:** Respaldo delantero del Bora A5 de Volkswagen recién terminado de soldar fabricado en la empresa automotriz Johnson Controls Planta Tlaxcala.

# **CONCLUSIONES**

El objetivo principal de la realización de este trabajo ha sido cumplido, conocer como interviene la electrónica en el proceso de soldadura por resistencia, cuáles son sus principales funciones, aplicaciones y aportaciones dentro de este proceso, y también se describieron detalladamente los diferentes sistemas electrónicos aplicados para el desarrollo y funcionamiento de la soldadura por resistencia.

A manera de conclusión podemos decir que la electrónica interviene en el proceso de soldadura por resistencia como el control para el funcionamiento y desarrollo de la misma, ya que sin la electrónica este proceso no podría desarrollarse notablemente, ni su productividad podría ser tan extensa.

A través del avance de la electrónica, el proceso de soldadura por resistencia ha evolucionado en sus diferentes aplicaciones, ya que se han desarrollado diversos sistemas de control y automatización los cuales han garantizado que este proceso sea uno de los más utilizados y requeridos dentro de la industria para realizar la unión de piezas y placas metálicas.

La electrónica realiza el control de la secuencia de soldadura mediante diversos dispositivos electrónicos como los SCRs, los PLCs, los sensores, las electroválvulas, y sin ella, el desarrollo y las aplicaciones de este proceso no podrían ser tan extensos ni tan eficientes.

Durante la experiencia profesional adquirida, desarrollando este proceso de soldadura dentro de la industria automotriz en el ensamble de piezas metálicas para la fabricación de asientos y respaldos automotrices, se pudo apreciar de cómo es que la electrónica controla el funcionamiento de dicho proceso, mediante sus diversos tipos de control y automatización, como son los PLCs, los controladores electrónicos programables de secuencia de soldadura, los SCRs y por supuesto el control de la parte mecánica como son la hidráulica y la neumática.

Con el uso de celdas robotizadas y herramientas específicos, se pueden realizar numerosos ensambles de piezas metálicas para su unión, mediante la soldadura por resistencia, en tiempos relativamente cortos y con una calidad de soldeo aceptable, y así garantizar la efectividad y calidad del mismo dentro de la industria metal-mecánica.

# **BIBLIOGRAFÍA**

**[1] PRINCIPIOS DE SOLDADURA POR RESISTENCIA.**

British Federal México, Soldadura-Automatización-Robótica 2005.

**[2] SOLDADURA POR RESISTENCIA.**

Entrón Controls Inc. Miembro de RWMA.

**[3] SOLDADURA, APLICACIONES Y PRÁCTICAS.**

Henry Horwits. Editorial Alfa Omega.

**[4] TECNOLOGÍA DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA.**

PT. Houldcroft, Editorial CEAC.

**[5] AWS: MANUAL DE SOLDADURA TOMO III.**

**[6] MAKING RESISTANCE SPOT WELDING SAFER: WELDING JOURNAL No 31.** Hirsch Roger B. 2007.

**[7] HANDBOOK FOR RESISTENCE SPOT WELDING.**

Miller. Julio 2005.

**[8] MANUAL DE INSTRUCCIONES DE SERIES DE PISTOLAS SOLDADORAS POR PUNTOS PORTÁTILES.**

OBARA CORP 2006.

**[9] RESISTANCE WELDING FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS.**

CRC Taylor and Francis. 2006.

**[10] MEDAR MEDWELD 3005 CONTROL DE SOLDADURA.**

ICESA MODICON. Enero 2003.

**[11] [http://www.spotweldingconsultants.com/welding\\_basics\\_spanish.pdf](http://www.spotweldingconsultants.com/welding_basics_spanish.pdf)**

Fecha de consulta: 19/octubre/2015.

**[12] <http://blog.pucp.edu.pe/media/15/20071220-spotweld.jpg>**

Fecha de consulta: 19/octubre/2015.

**[13] <http://www.masinsa.com.mx/upfiles/sec/capsys.jpeg>**

Fecha de consulta: 19/octubre/2015.

**[14] <http://www.soldaduradepunto.com/electrode/standardelectrode.htm>**

Fecha de consulta: 20/octubre/2015.

**[15] <http://www.festo.com/catalogue>**  
Fecha de consulta: 15/noviembre/2015.

**[16] <http://www.romanmfg.com>**  
Fecha de consulta: 11/diciembre/2015.

**[17] [http://www.es.wikipedia.org/wiki/transistor\\_IGBT](http://www.es.wikipedia.org/wiki/transistor_IGBT)**  
Fecha de consulta: 23/abril/2015.

**[18] <http://www.unicrom.com>**  
Fecha de consulta: 25/abril/2015.

**[19] [http://\\_www.directindustry.es](http://_www.directindustry.es)**  
Fecha de consulta: 26/abril/2015.

**[20] [http:// www.armstronginternational.com](http://www.armstronginternational.com)**  
Fecha de consulta: 26/mayo/2015.

**[21] <http://www.segundamano.com.mx>**  
Fecha de consulta: 04/julio/2015

# ANEXOS

## 1. GLOSARIO

**ABULTAMIENTO:** Aumento de volumen, engrosar.

**AXIAL:** Perteneciente o relativo al eje. Fundamental, central, principal.

**CANALIZACIÓN:** Conducción u orientación a través de un conducto o tubería.

**CAUDAL:** Es la cantidad de volumen desplazado por unidad de tiempo, y sus unidades son los lts/min. Para que exista caudal se necesita una diferencia de presiones, el caudal fluirá de mayor a menor presión y en relación cuadrática al diámetro de la tubería.

**CESADO:** Se dice cuando un proceso ya ha sido terminado o interrumpido.

**CHISPORROTEO:** Desprender chispas de fuego reiteradamente en gran cantidad.

**COALESCENCIA:** Fusión o unión de dos metales por medio de la soldadura.

**CONTACTOR:** Interruptor eléctrico de potencia automático accionado por medio de un electroimán.

**DESTELLO:** Relumbre, resplandor instantáneo o intermitente.

**DEVANADO:** Arrollamiento de dos bobinas eléctricas compuesto por un hilo continuo de cobre aislado con barniz.

**DISCONTINUIDAD:** Es cuando un valor funcional determinado se diferencia notablemente del anterior.

**DISIPAR:** Separar, desunir, apartar o esfumar algo que está en el aire.

**FLUCTUACIÓN:** Titubeo, indeterminación, alteración o variación de una magnitud física alrededor de su valor medio.

**FORJA:** Proceso de modelado del hierro y otros materiales maleables golpeándolos o troquelándolos después de hacerlos dúctiles mediante aplicación de calor. Las técnicas de forjado son útiles para trabajar el metal porque permiten darle la forma deseada y además mejoran la estructura del mismo, sobre todo porque refinan su tamaño de grano. El metal forjado es más fuerte y dúctil que el metal fundido y muestra una mayor resistencia a la fatiga y el impacto.

**FRAGUADO:** Enfriamiento y endurecimiento de los metales.

**HERMÉTICO, CA:** Que se cierra de tal modo que no deja pasar el aire u otros fluidos. Impenetrable, cerrado, aun tratándose de algo inmaterial.

**IDENTACIÓN:** Es el punto de soldadura ideal, es aquel que está conformado por una fusión completa en la interface de contacto entre las placas a unir, con un diámetro de punto de soldadura adecuado.

**IGNITRÓN:** Válvula termoiónica usada como transformador de corriente de alto voltaje, formada por un recipiente con mercurio (cátodo) y un ánodo metálico.

**IMPEDANCIA:** Oposición total que presenta un circuito eléctrico a la corriente alterna.

**ISO:** Organización Internacional de Estandarización (*international organization for standardization*).

**JUNTA:** Unión de dos o más cosas.

**METALÚRGICA:** Área en donde se procesan los metales para convertirlos en artículos utilizables.

**MORDAZA:** Dispositivo mecánico que se emplea para sujetar.

**PROTUBERANCIA:** Abultamiento o aumento de volumen de forma redonda.

**RECALCADO:** Apretar demasiado una cosa sobre otra durante un determinado tiempo.

**SOLIDIFICACIÓN:** Temperatura a la que un líquido sometido a una presión determinada se transforma en sólido.

**TENAZA:** Objeto de metal formado por dos brazos cruzados móviles alrededor de un eje, el cual sirve para sujetar, trasportar y cortar.

**TOROIDE:** Es la bobina de un transformador de forma geométrica parecida a un toro.

**TRASLAPADO:** Es cuando se ha colocado un objeto sobre otro.

**UNÍVOCA:** Que únicamente tiene un sentido o significado y que además tiene la misma naturaleza, convertir en una misma propiedad o circunstancia dos o más cosas.

## **2. CELORÓN Y NYLAMID MATERIALES AISLANTES UTILIZADOS EN EQUIPOS DE SOLDADURA POR RESISTENCIA.**

**CELORÓN:** Es un material el cual es utilizado en el campo de la industria eléctrica y electrónica como aislante. En el campo mecánico es utilizado para piezas donde se desea tener resistencia con ligereza y flexibilidad que absorba el ruido y soporte el impacto, protegiendo otros componentes como baleros cuando se usa en forma de engranes.

Además sirve para proteger equipos delicados porque es aislante eléctrico y no genera chispas al recibir abrasión metálica. El celorón es un laminado industrial, duro y denso, fabricado a través de la aplicación de calor y prensado de capas de tejido de algodón impregnado con resinas sintéticas (fenólicas).



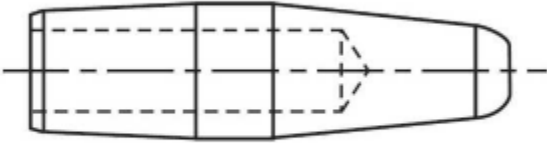
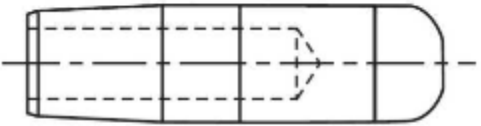
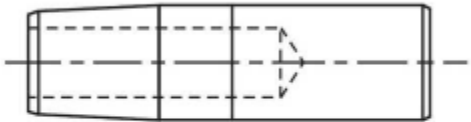
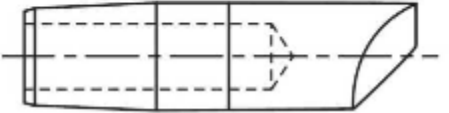
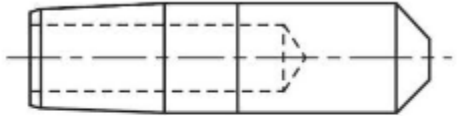
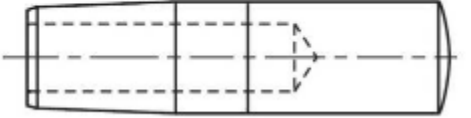
**Figura 1:** Material aislante celorón en sus dos presentaciones, en forma cilíndrica y en forma plana.

**NYLAMID:** Es un material plástico aislante, el cual es utilizado en los equipos de soldadura por resistencia para eliminar la corrosión, el ruido y el consumo de energía eléctrica.



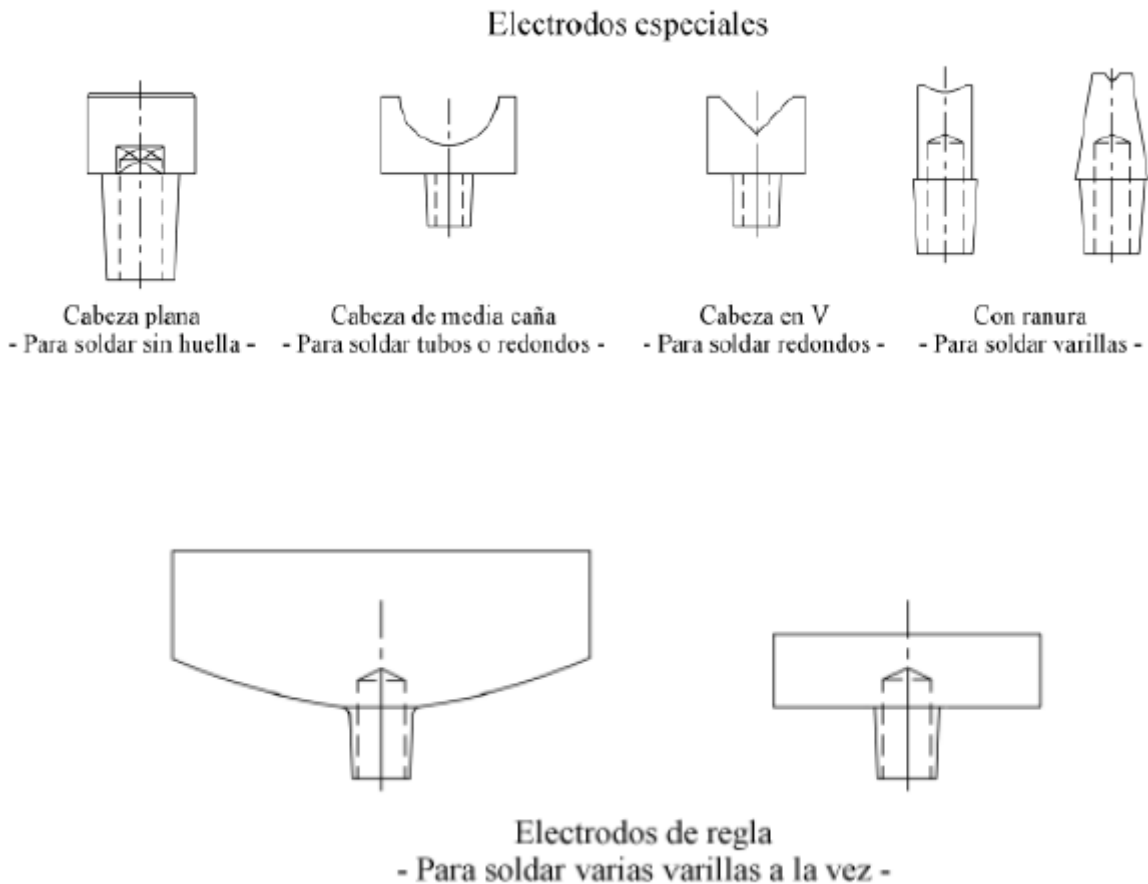
**Figura 2:** Material aislante nylamid utilizado en máquinas de soldadura por resistencia.

**TIPOS DE ELECTRODOS UTILIZADOS PARA REALIZAR LA SOLDADURA POR RESISTENCIA POR PUNTOS.**

Tipo	Denominación	Gráfico
A	Agudo	
B	Domo	
C	Recto	
D	Excéntrico	
E	Cono truncado	
F	Radial	

**Figura 3:** Diferentes tipos de puntas de electrodos utilizados en la soldadura por puntos.

### **3. ELECTRODOS ESPECIALES UTILIZADOS EN LA SOLDADURA POR RESISTENCIA**



**Figura 4:** Algunos electrodos especiales utilizados en el proceso de soldadura por resistencia.

### **4. EFECTO JOULE**

El efecto Joule consiste en la producción de calor en un conductor cuando circula una corriente eléctrica a través del mismo. La energía eléctrica se transforma en energía térmica debido a los continuos choques de los electrones móviles contra los iones metálicos del conductor, produciéndose un intercambio de energía cinética, que provoca un aumento de temperatura del conductor. El efecto Joule se interpreta considerando todos los procesos energéticos que tienen lugar.

En el generador se crea un campo eléctrico a expensas de energía química o mecánica. Esta energía se emplea en acelerar los electrones del metal, comunicándoles energía cinética. Los electrones pierden parte de esta energía en los inevitables choques con los átomos que constituyen el metal; estos átomos pueden oscilar alrededor de sus posiciones de equilibrio

en la red metálica, y al incrementar su energía cinética de oscilación o de vibración se eleva la temperatura del conductor.

La cantidad de calor,  $Q$ , producida al paso de una corriente eléctrica por un conductor es proporcional a la resistencia,  $R$ , al cuadrado de la intensidad,  $I$ , y al tiempo,  $t$ :

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

La calefacción eléctrica, el alumbrado eléctrico por incandescencia, los fusibles y el arco voltaico son algunas de las aplicaciones del efecto Joule.

## 5. SIMBOLOGÍA NEUMÁTICA BÁSICA

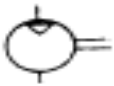
### Elementos transformadores de energía



Compresor



Bomba de vacío



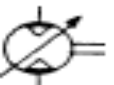
Motor neumático, caudal fijo



Motor neumático, caudal fijo y dos sentidos de giro



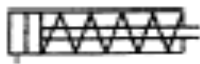
Motor neumático de caudal variable



Motor neumático de caudal variable y dos sentidos de giro



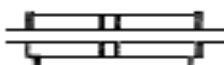
Motor neumático de giro limitado



Cilindro de simple efecto



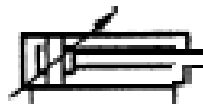
Cilindro de doble efecto



Cilindro de doble vástago



Cilindro diferencial



Cilindro doble efecto con amortiguación

**Válvulas distribuidoras**



Válvula 2 vías y 2 posiciones NC (2/2 NC)



Válvula 2 vías y 2 posiciones NA (2/2 NA)



Válvula 3 vías y 2 posiciones NC (3/2 NC)



Válvula 3 vías y 2 posiciones NA (3/2 NA)



Válvula 3 vías y 3 posiciones. Centro cerrado (3/3)



Válvula 4 vías y 2 posiciones (4/2)



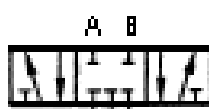
Válvula 4 vías y 3 posiciones. Centro cerrado (4/3)



Válvula 4 vías y 3 posiciones, presión bloqueada y utilizations a escape (4/3)



Válvula 5 vías y 2 posiciones (5/2)



Válvula 5 vías y 3 posiciones (5/3)

### Válvulas de Bloqueo



Válvula anti-retorno



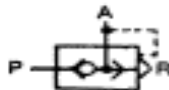
Válvula anti-retorno con muelle



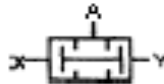
Válvula anti-retorno pilotada por aire



Válvula selectora de circuito o función "O"



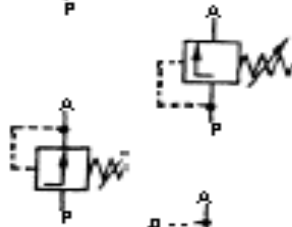
Válvula de escape rápido



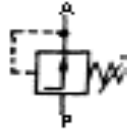
Válvula de simultaneidad, de dos presiones, o función "Y"



Válvula de presión  
Válvula limitadora de presión



Válvula de secuencia



Regulador de presión sin escape



Regulador de presión con escape

### Válvulas reguladoras de caudal



Válvula de estrangulamiento fijo




















Válvula de estrangulamiento variable








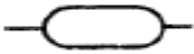

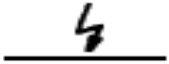
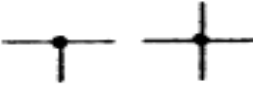
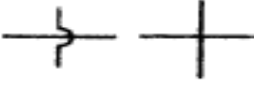
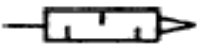


Válvula de regulación de caudal unidireccional



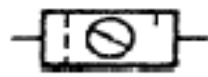
Válvula de cierre

	Acción: movimiento muscular general
	Con botón o pulsador
	Con palanca manual
	Con pedal
	Con rodillo
	Con rodillo escamoteable
	Con leva
	Con muelle
	Por presión de aire
	Por depresión de aire
	Por servopilotaje por presión
	Por servopilotaje por depresión
	Por electroimán
	Por electroimán y servopilotaje por presión
	Por electroimán y servopilotaje por depresión
	Por enclavamiento
	Por emisor de impulsos

## Conductos

	Red de presión
	Conducto de trabajo
	Conducto de mando
	Conducto de escape
	Margen de grupo
	Acumulador
	Conducto flexible
	Conducto eléctrico
	Unión
	Cruce de líneas sin unión
	Silenciador
	Acoplamiento rápido
	Unión rotativa

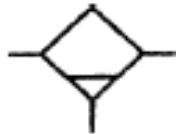
## Elementos de mantenimiento



Unidad de mantenimiento



Filtro



Purgador de agua



Purgador automático



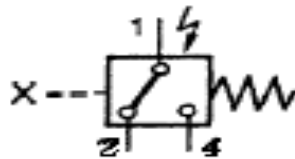
Filtro con purgador



Lubricador



Secador



Presostato

### Denominaciones de conductos

A, B, C, ... ó	2, 4, 6, ..	Conductos de trabajo
P	ó 1	Alimentación de aire
R, S, T, ... ó	3, 5, 7, ..	Escapes
Z, X, Y, ... ó	12, 14, 16,	Conductos de pilotaje