

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y CONTROL

AUTOMATIZACIÓN DE UNA SOLDADORA DE PUNTO ESTÁTICA

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

NACIMBA NACIMBA DIEGO ARMANDO
diego.nacimba@metaltronic.com.ec

DIRECTORA: Ing. ANA RODAS
ana.rodas@epn.edu.ec

Quito, Agosto 2011

DECLARACIÓN

Yo, Nacimba Nacimba Diego Armando, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mi derecho de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Nacimba Nacimba Diego Armando

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Nacimba Nacimba Diego Armando, bajo mi supervisión.

Ing. Ana Rodas
DIRECTORA DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a la Ing. Ana Rodas, Directora de este proyecto por todo su apoyo y colaboración incondicional.

A la Escuela Politécnica Nacional por brindarme la enseñanza y valores para ser un buen profesional.

A mis padres y hermanos que siempre me estuvieron apoyando durante toda mi vida.

A mi esposa e hijos por todo el cariño y comprensión que me han brindado.

A todas aquellas personas, amigos y compañeros por sus consejos y colaboración pero en especial por su valiosa amistad.

Mi agradecimiento a la Empresa Metaltronic S.A. especialmente al Ing. Oswaldo Landázuri Carrillo, que en paz descanse y Dios lo tenga en su gloria, por confiar en mí y brindarme la oportunidad de realizar el presente proyecto en su empresa.

DEDICATORIA

DEDICO ESTA TESIS:

A Dios todopoderoso, a mis padres,
a mis hermanos Lourdes, Juan Carlos y Anita
especialmente a mi esposa Tania
y a mis hijos Santiago, Abigail y Esteban
que han sido el impulso primordial de mi vida.

CONTENIDO

RESUMEN.....	I
PRESENTACIÓN.....	II
CAPÍTULO 1.....	1
1. ESTUDIO DE SOLDADURA POR RESISTENCIA.....	1
1.1 TIPOS DE SOLDADURA POR RESISTENCIA	2
1.1.1 Soldadura engargolada	2
1.1.2 Soldadura por proyección	3
1.1.3 Soldadura instantánea	5
1.1.4 Soldadura a tope con recalcado	5
1.1.5 Soldadura por percusión	6
1.1.6 Soldadura por resistencia de alta frecuencia	6
1.1.7 Soldadura por puntos	7
1.2 ESTUDIO DE LA SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS	8
1.2.1 Principios del proceso de soldadura de resistencia por puntos.....	8
1.2.2 Estructura de una soldadura de resistencia por puntos.....	10
1.2.3 Factores que influyen en la generación del calor.....	12
1.2.4 Etapas de la soldadura de resistencia por puntos.....	14
1.2.5 Tamaño de la pepita de soldadura.....	15
1.2.6 Tipos de portacaps y caps para la ejecución de la soldadura de resistencia por puntos.....	20
1.2.7 Pruebas de control destructivas.....	23
1.2.8 Precauciones en la ejecución de la soldadura de resistencia por puntos.....	24
1.3 PROYECTO A DESARROLLAR.....	26
CAPÍTULO 2.....	31
2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE POTENCIA	31
2.1. DISEÑO DEL CONVERTOR AC/AC CON CONTROL DE FASE DIRECTO.....	32
2.1.1. Análisis de funcionamiento de un convertor AC/AC por control de fase.....	33
2.1.2. Dimensionamiento de los tiristores del convertor AC/AC.....	40
2.1.3. Protecciones para el convertor AC/AC.....	42
2.1.3.1. Diseño del disipador de calor.....	43
2.1.3.2. Diseño de la red snubber.....	44
2.2. DISEÑO DE FUENTES DE ALIMENTACIÓN.....	46
2.2.1. Diseño de una fuente de alimentación de 5VDC / 2A.....	46
2.2.2. Fuente de alimentación de 24VDC / 1A.....	48
2.2.3. Protecciones para las fuentes de alimentación.....	49
2.3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE DE LA TARJETA PRINCIPAL.....	51
2.3.1. Microcontroladores PIC 16F877A.....	51
2.3.2. Teclado matricial y pantalla LCD.....	54
2.3.3. Potenciómetro hold y squeeze.....	56
2.3.4. Switch de weld / no weld y pedal.....	57
2.3.5. Switch de temperatura.....	58
2.3.6. Sensor de presión de aire.....	60
2.3.6.1. Características del sensor de presión de aire.....	61
2.3.6.2. Partes del sensor de presión de aire.....	61
2.3.6.3. Cableado interno del sensor de presión de aire.....	62
2.3.7. Circuito de activación de la electroválvula.....	63

2.3.8.	Circuito detector de cruce por cero.....	65
2.3.9.	Circuito de disparo para los SCR's.....	67
2.3.10.	Luces indicadoras de fallo o estado.....	69
CAPÍTULO 3.....		74
3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	74
3.1.	Sistema de control microprocesado.....	74
3.1.1.	Manejo de interrupciones por el puerto B.0.....	75
3.1.2.	Manejo de memoria eeprom del microcontrolador PIC16F877A.....	76
3.1.3.	Comunicación serial entre microcontroladores PIC16F877A.....	77
3.1.4.	Manejo del conversor A/D.....	79
3.2.	Algoritmo de control.....	80
3.2.1.	Funcionamiento.....	80
3.2.2.	Algoritmo de control de la interfaz hombre-máquina.....	81
3.2.3.	Algoritmo de control del controlador principal.....	91
3.3.	Configuración del sensor de presión de aire.....	98
3.3.1.	Manipulación del sensor de presión de aire.....	98
3.3.2.	Modos de salida del sensor de presión.....	99
3.4.	Configuración de los parámetros de soldadura.....	101
3.4.1.	Funcionamiento de la pantalla LCD y teclado.....	101
3.4.2.	Funcionamiento de las opciones weld / no weld, squeeze y hold.....	105
CAPÍTULO 4.....		107
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	107
4.1.	Prueba de la corriente y ciclos de soldadura.....	107
4.2.	Prueba de la fuerza de los brazos de soldadura.....	112
4.3.	Prueba de fallos de la soldadora de resistencia por puntos.....	115
4.3.1.	Alarma por falta de aire.....	115
4.3.2.	Alarma por sobrettemperatura en el transformador.....	116
4.4.	Comprobación de la calidad del punto de soldadura mediante pruebas destructivas.....	116
4.5.	Comprobación de las opciones weld / no weld, squeeze y hold.....	119
CAPÍTULO 5.....		119
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
5.1.	Conclusiones.....	120
5.2.	Recomendaciones.....	121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		122
ANEXOS		

RESUMEN

Las autopartes metálicas ensambladas en la planta de "METALTRONIC S.A." utilizan en su proceso de producción soldadoras de resistencia por puntos para unir los diferentes componentes y entregar conjuntos armados a sus clientes. La soldadora de resistencia por puntos marca ARO se encontraba en desuso debido a daños en la tarjeta de control y mala calidad de los puntos de soldadura.

Por lo que se decide automatizar la soldadora de resistencia por puntos mediante un control microprocesado, que permita variar los parámetros que afectan al proceso de soldadura, además de monitorear y alertar sobre los posibles modos de falla.

Se implementa un control amigable para el operador, mediante el uso de un teclado y una pantalla LCD, para el ingreso de los parámetros del proceso de soldadura, potenciómetros para variar los tiempos de squeeze y hold, un selector para escoger modo weld / no weld y luces indicadoras que alerten de fallas en la soldadora de resistencia por puntos.

Conjuntamente con el sistema de control se implementa un convertor AC/AC por control de fase directo; este convertor consiste en un módulo compacto de tiristores y sus debidas protecciones para evitar daños.

La implementación del proyecto trae como resultado tener el control de todos los parámetros de soldadura, evitar paros frecuentes por mantenimiento debido a que no se utiliza elementos mecánicos como el selector ó el contactor y visualizar alarmas ante la presencia de alguna falla. De esta manera se logra un funcionamiento continuo del equipo y una soldadura de resistencia por puntos con calidad.

PRESENTACIÓN

La soldadura de resistencia por puntos sirve para unir metales de una forma rápida, por lo que es el proceso más utilizado en la industria automotriz para la producción de autopartes metálicas.

El presente proyecto de titulación consiste en automatizar una soldadura de resistencia por puntos estática de la planta Metaltronic S.A., reduciendo los tiempos de paro por problemas en el equipo y asegurando la calidad del proceso de soldadura.

Este proyecto está dividido en cinco capítulos que describen cada una de las etapas seguidas a lo largo de la realización de este trabajo.

El primer capítulo detalla los conceptos básicos del proceso de soldadura por resistencia, y de allí los principios, factores y etapas del proceso de soldadura de resistencia por puntos, además de las pruebas de control que se debe realizar para garantizar la calidad de la suelda.

El segundo capítulo explica detalladamente el diseño del hardware del sistema de control para la soldadora de resistencia por puntos. Se expone cada uno de los elementos utilizados en todo el sistema como son: fuentes, sensor de presión, microcontroladores, circuitos integrados y demás.

El tercer capítulo presenta los algoritmos de control de los dos microcontroladores que tiene la tarjeta principal, los cuales complementan el hardware para en conjunto tener un sistema que controle los parámetros necesarios para realizar el proceso de soldadura de resistencia por puntos. También se realiza una breve explicación de cada una de las ventanas para realizar la programación de porcentaje y tiempo de soldadura.

El cuarto capítulo está dedicado a las pruebas de funcionamiento, sus resultados y un análisis de los mismos, lo cual permite exponer al lector las ventajas y desventajas del proyecto.

El quinto capítulo expone las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron a lo largo de la elaboración de todo el proyecto.

Finalmente, se espera satisfacer las inquietudes del lector y haber contribuido al desarrollo tecnológico del país.

CAPÍTULO 1

ESTUDIO DE SOLDADURA POR RESISTENCIA

La soldadura por resistencia es uno de los procesos de soldadura eléctrica más antiguos que se conoce y además una de las más utilizadas en nuestras industrias, debido a lo rápido y económico que resulta.

El principio de funcionamiento de este proceso consiste en pasar una corriente eléctrica de gran intensidad a través de los metales que se van a unir. Como en la unión de los mismos, la resistencia eléctrica es mayor que en sus cuerpos, se generará un aumento de temperatura, que junto a un poco de presión logrará la soldadura.

La soldadura por resistencia se produce debido a la combinación de calor, presión y tiempo.

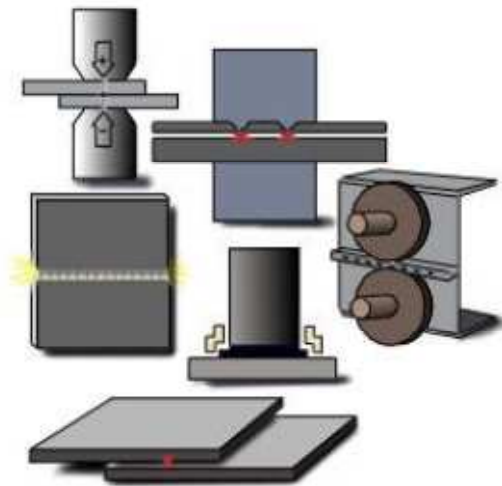


Figura 1.1 Soldadoras por resistencia

Entre los procesos de soldadura por resistencia se puede citar los siguientes:

- Soldadura engargolada
- Soldadura por proyección

- Soldadura instantánea
- Soldadura a tope con recalcado
- Soldadura por percusión
- Soldadura por resistencia de alta frecuencia
- Soldadura por puntos

1.1. TIPOS DE SOLDADURA POR RESISTENCIA¹

1.1.1 SOLDADURA ENGARGOLADA

En la soldadura engargolada por resistencia, SER (en inglés resistance seam welding, RSEW), los electrodos son ruedas giratorias como se muestra en la Figura 1.2 y se hace una serie de soldaduras de puntos superpuestas a lo largo de la unión.

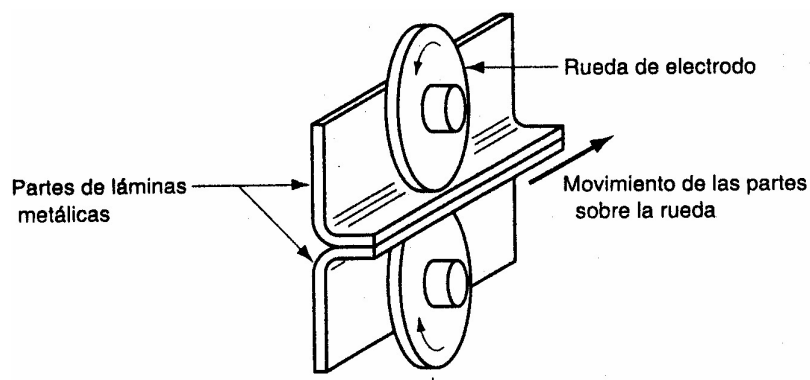


Figura 1.2 Soldadura de engargolado por resistencia (RSEW)

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.

Los electrodos de tipo rueda introducen cierta complejidad al proceso como en las esquinas agudas e irregulares; las formas engargoladas deben estar a lo largo de una línea recta o una curva uniforme, debido a que la operación generalmente se

¹ <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/PDF/cap-432.pdf>

realiza de forma continua. Así mismo, la deformación de las partes es el factor más significativo en este tipo de soldadura; para solucionar este problema se requiere de soportes bien diseñados para sostener el trabajo en la posición correcta y así reducir la distorsión.

El espaciado entre las pepitas de soldadura depende del movimiento de las ruedas de electrodos y de la frecuencia de aplicación de la corriente de soldadura. Un método usual con este tipo de soldadura es el de movimiento continuo, en el cual la rueda gira en forma continua a una velocidad constante y la corriente se activa a intervalos de tiempo que coinciden con el espaciado deseado entre los puntos de soldadura a lo largo del engargolado. La frecuencia de las descargas de corriente hace que se produzcan puntos de soldadura sobrepuestos. Pero si la frecuencia se reduce habrá espacios entre los puntos de soldadura, y a este método se lo denomina soldadura de puntos con rodillo.

Otra condición que se puede tener con este tipo de soldadura es que la corriente se mantenga constante, con lo que se obtiene un engargolado de soldadura continuo.

La Figura 1.3 muestra los diferentes tipos de soldadura engargolada.

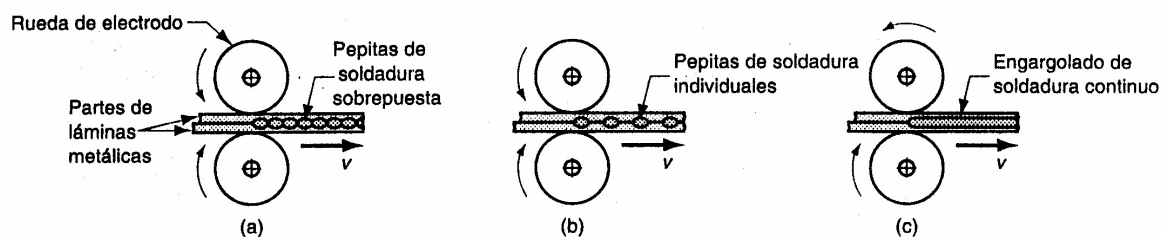


Figura 1.3 Tipos de soldadura engargolada con electrodo tipo rueda: (a) soldadura engargolada por resistencia convencional, puntos sobrepuestos, (b) soldadura de punto con rodillo, (c) soldadura engargolada constante.

1.1.2 SOLDADURA POR PROYECCIÓN

La soldadura por proyección, SEP (en inglés resistance projection welding, RPW), 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 partes que se van a unir y pueden consistir en proyecciones, grabados o intersecciones localizadas en las partes.

Un caso normal en el cual se sueldan dos partes de chapas de metal se describe en la Figura 1.4; la parte superior se ha fabricado con dos puntos grabados para entrar en contacto con la otra parte al principio del proceso.

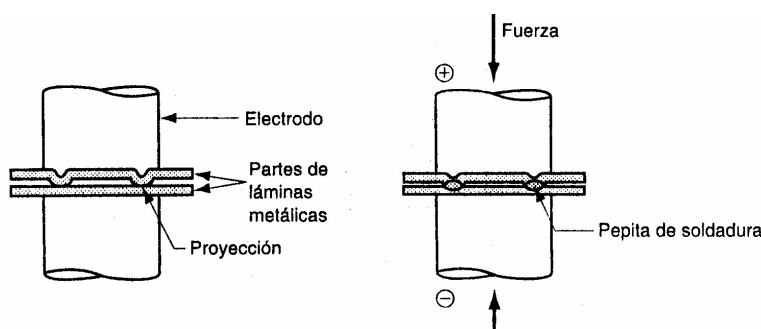


Figura 1.4 Soldadura por proyección

La Figura 1.5 muestra dos variables de la soldadura por proyección. En la primera es posible unir permanentemente sujetadores con proyecciones maquinadas o formadas en láminas o placas mediante soldadura de resistencia.

Existe otra variación de este tipo de soldadura, que se conoce con el nombre de soldadura de alambre transversal, la cual se usa en la fabricación de carros de 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.

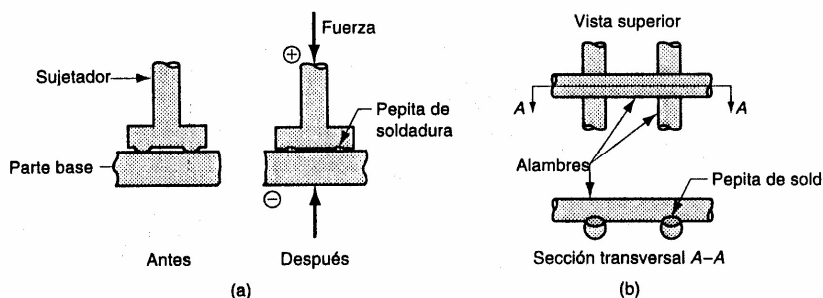


Figura 1.5 Dos variables de soldadura por proyección: (a) soldadura de un sujetador maquinado, (b) soldadura de alambre transversal.

1.1.3 SOLDADURA INSTANTÁNEA

En la soldadura instantánea, SI (en inglés 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 1.6. Además del calentamiento por resistencia, se generan ciertos arcos (llamados destellos instantáneos, de ahí el nombre) dependiendo del alcance del contacto entre las superficies a empalmarse, 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 recalado.

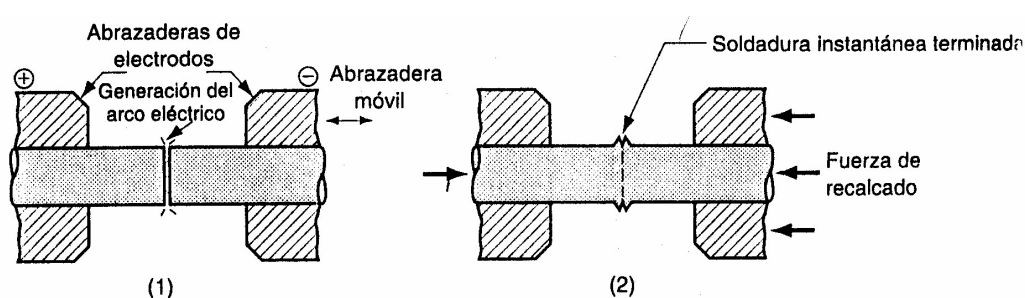


Figura 1.6 Soldadura instantánea (FW): (1) Calentamiento mediante resistencia eléctrica y (2) Recalado

Las aplicaciones de la soldadura instantánea incluyen las soldadoras 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.

1.1.4 SOLDADURA A TOPE CON RECALCADO

La soldadura a tope con recalado, STR (en inglés upset welding, UW), es similar a la soldadura instantánea, excepto que en la primera las superficies a empalmarse se aprietan una contra la otra durante el calentamiento y se recalcan.

En la soldadura instantánea, los pasos de calentamiento y presión se separan durante el ciclo. El calentamiento en este tipo de soldadura se obtiene completamente mediante resistencia eléctrica generada en las superficies que hacen contacto; no se producen arcos eléctricos.

Cuando las superficies a empalmarse se han calentado a una temperatura conveniente abajo del punto de fusión, se aumenta la fuerza que presiona a las partes una contra otra para producir el recalado y la coalescencia en la región de contacto. Las aplicaciones de la UW son similares a las de la soldadura instantánea como es la unión de extremos de alambres, tubos, depósitos y similares.

1.1.5 SOLDADURA POR PERCUSIÓN

La soldadura por percusión, SP (en inglés percussion welding, PEW), también es similar a la soldadura instantánea, excepto que la duración del ciclo de soldadura es extremadamente breve, por lo general sólo transcurren de 1 a 10 milésimas de segundo. El calentamiento se obtiene rápidamente a través de veloces descargas de energía eléctrica entre las dos superficies que se van a unir, para continuar con la percusión inmediata de una parte contra la otra hasta formar la soldadura. El calentamiento está localizado, lo cual hace muy atractivo el proceso para aplicaciones electrónicas, en las cuales las dimensiones son muy pequeñas y los componentes pueden ser sensibles al calor.

1.1.6 SOLDADURA POR RESISTENCIA DE ALTA FRECUENCIA

La soldadura por resistencia de alta frecuencia SRAF (en inglés 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 1.7 (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 del proceso, denominada soldadura por inducción de alta frecuencia,

SIAF (en inglés 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 1.7 (b). El rollo no hace contacto físico con el trabajo. Las aplicación principal de este tipo de soldadura es la soldadura empalmada de engargolados longitudinales en conductos y tubos metálicos.

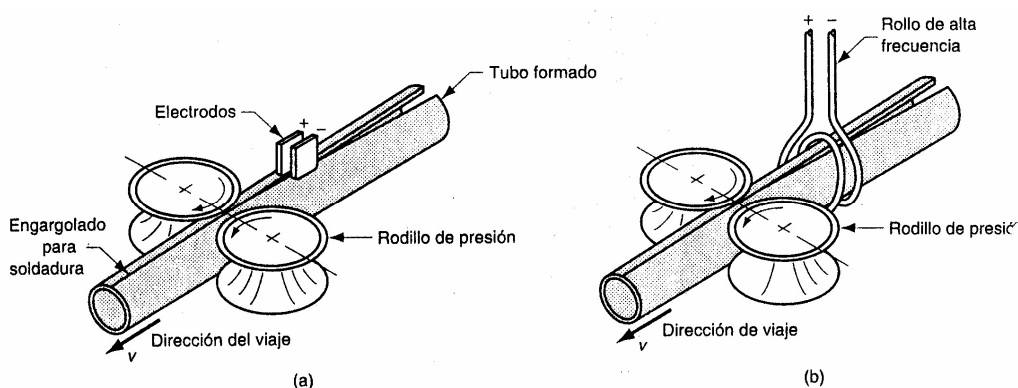


Figura 1.7 Soldadura de engargolados de tubos mediante (a) Soldadura por resistencia de alta frecuencia y (b) soldadura por inducción de alta frecuencia.

1.1.7 SOLDADURA POR PUNTOS

La soldadura de puntos por resistencia es por mucho, el proceso predominante en este grupo. Se usa ampliamente en la producción masiva de automóviles, aparatos domésticos, muebles metálicos y otros productos hechos a base de láminas metálicas. Si se considera que la carrocería de un automóvil normal tiene aproximadamente 10.000 soldaduras de puntos individuales y que la producción anual de automóviles en todo el mundo se mide en decenas de millones de unidades, es posible apreciar la importancia económica de la soldadura de puntos.

La soldadura de puntos por resistencia, SPR (en inglés resistance spot welding, RSW), es un proceso en el cual se obtiene la fusión en una posición de las superficies en contacto de una unión superpuesta, mediante electrodos opuestos. Este proceso se usa para unir partes metálicas con un grosor de 3mm o menos, usando una serie de soldaduras de puntos en situaciones donde no se requiere un ensamble hermético. El tamaño y la forma del punto de soldadura se

determinan por medio de la punta del electrodo. La forma del electrodo más común es redonda pero también se usan formas hexagonales, cuadradas y otras.

1.2. ESTUDIO DE LA SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS

La soldadura de resistencia por puntos es el proceso de unir dos o más piezas de metal en una pequeña área definida, por medio de la aplicación de calor y presión, donde el calor se obtiene de la resistencia del metal al flujo de corriente eléctrica en un circuito del que el metal forma parte.

1.2.1. PRINCIPIOS DEL PROCESO DE SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS²

En el proceso de soldadura de resistencia, un factor importante es el calor. En la Figura 1.8 se ilustra las temperaturas aproximadas que alcanza el metal en sus alrededores y las puntas del electrodo en una soldadura de resistencia por puntos típica de dos metales. En la superficie de contacto de ambos metales, la temperatura está muy cerca del punto de fusión del acero, que es aproximadamente 2.400° Fahrenheit.

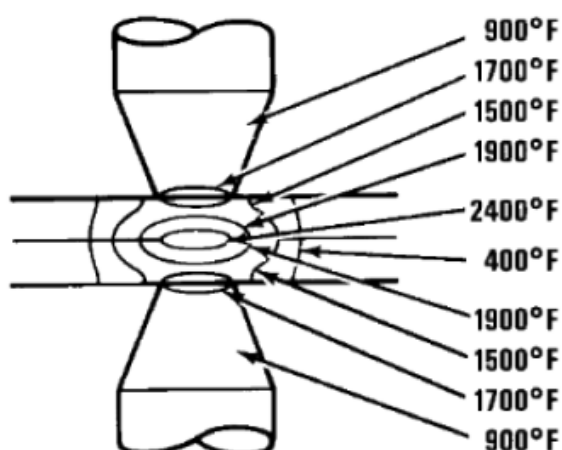


Figura 1.8 Temperatura en el proceso de soldadura de resistencia por puntos.

² General Motors. "Automotive Welding Handbook" Revisado: Noviembre 1996.

Los metales se calientan hasta un estado plástico y después se unen mediante presión al ser forjados, que es diferente a la soldadura autógena o eléctrica, las cuales unen los metales mediante la fusión de los mismos.

Al efectuar soldadura de resistencia por puntos, la corriente pasa de una punta de electrodo, a través de los metales que van a soldarse, hasta la otra punta del electrodo. Durante este paso, la corriente eléctrica encuentra resistencia en cada uno de los elementos del circuito, los cuales son los siguientes:

- La resistencia eléctrica del material de la punta del electrodo superior.
- La resistencia de contacto entre la punta superior y el metal superior que se suelda.
- La resistencia eléctrica del metal superior que se suelda.
- La resistencia de contacto entre las dos láminas de metal que se sueldan.
- La resistencia eléctrica del metal inferior que se está soldando.
- La resistencia de contacto entre el metal inferior que se está soldando y la punta inferior.
- La resistencia eléctrica del material de la punta del electrodo inferior.

A medida que la corriente de soldadura pasa a través de cada una de estas resistencias se genera calor. La mayor temperatura se presenta en la superficie de contacto entre las láminas, donde comienza la formación de la soldadura.

Los otros puntos de generación de calor son las superficies de contacto de las láminas con los electrodos a cada lado de las láminas a soldar. Debido a la alta conductividad térmica del material de la punta y al hecho de que tienen enfriamiento por agua, estas superficies no están cerca de la temperatura de fusión; en cambio, la temperatura de las superficies de los materiales a ser unidos están cerca del punto de fusión debido a que son materiales que no tienen una buena conductividad eléctrica.

1.2.2. ESTRUCTURA DE UNA SOLDADORA DE RESISTENCIA POR PUNTOS³

En la Figura 1.9 se tiene un esquema de las diferentes partes que componen una soldadora de resistencia por puntos. A continuación se detalla la función y características de cada uno de los componentes.

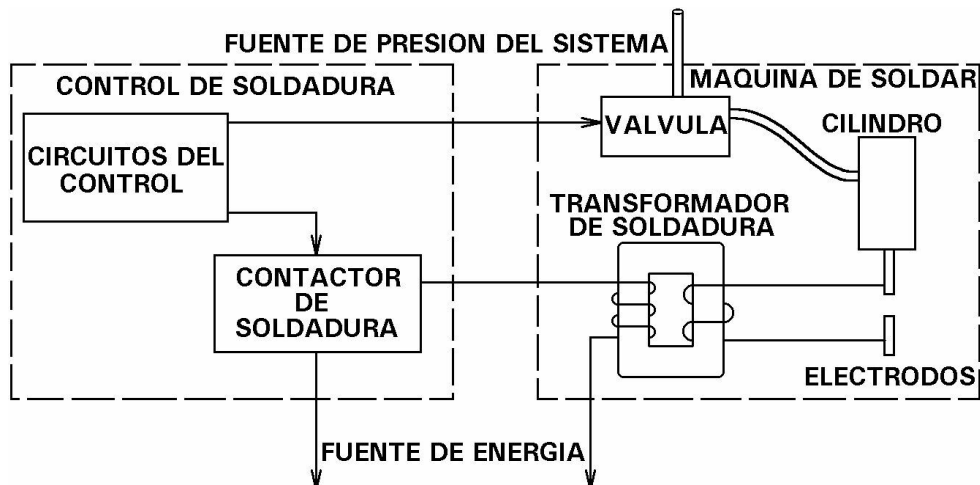


Figura 1.9 Esquema de una soldadora de resistencia por puntos

La corriente eléctrica para la soldadura de resistencia por puntos es suministrada generalmente a través de un transformador, que convierte el voltaje de alimentación de un valor alto a un nivel bajo de voltaje y el amperaje de menor a mayor cantidad.

La fuente de energía puede estar dentro del rango de 220V a 480V a través del bobinado primario del transformador y la corriente en el primario puede variar entre 100 y 2.000 amperios dependiendo del tipo de trabajo y la capacidad del transformador.

El bobinado secundario del circuito tiene voltajes bajos, en un rango de 3 a 30 voltios y altas corrientes secundarias en un rango de 9.000 a 30.000 amperios, según el tipo de trabajo. Pequeñas partes de metal, de espesor delgado, soldada a baja velocidad únicamente necesitan una máquina de capacidad reducida, con un voltaje secundario de 3 voltios para obtener los 9.000 amperios necesarios

³ http://spotweldingconsultants.com/welding_basics.spanish.pdf

para provocar la soldadura. Por otra parte, una acumulación de metales pesados de diversos espesores, soldados a altas velocidades pueden requerir de una máquina grande con un voltaje secundario de hasta 30 voltios o más para obtener una corriente de soldadura de por los menos 30.000 amperios.

En la Figura 1.9 se observa un “contactor de soldadura”, que no es otra cosa que un interruptor para encender o apagar la corriente del primario. Sin embargo, este dispositivo para encender y apagar la corriente es una parte crítica del sistema. Un relé o switch operado manualmente puede ser considerado como un dispositivo de conmutación, pero es inadecuado porque operan a una velocidad relativamente lenta, por ejemplo: la corriente debe ser conectada por $\frac{1}{4}$ de segundo y es muy difícil conectar y desconectar un switch nuevamente en $\frac{1}{4}$ de segundo. Por ese motivo se debe utilizar aparatos electrónicos que no tengan parte móviles, como los SCR. Cualquiera que sea el elemento considerado como “contactor de soldadura” necesita de un circuito de control; este circuito se encargará de dejar pasar corriente por los electrodos por el lapso de tiempo determinado previamente.

Una fuente de presión sobre los metales también es necesaria para asegurar un buen contacto eléctrico entre las partes que van a ser soldadas, esta fuente además ayuda a mantener fijas las partes hasta que el metal derretido que forma la junta sólida tenga tiempo de solidificarse. Dependiendo del tipo y tamaño de la máquina soldadora, se usan varios métodos para realizar el movimiento del cilindro, pero lo común es usar aire comprimido.

El cilindro va rígidamente unido al marco de la soldadora y el vástago está conectado al electrodo superior. El aire comprimido introducido en el cilindro desarrolla una fuerza en el pistón, el cual empuja hacia abajo al electrodo contra el material a ser fundido. El cierre y apertura del cilindro está controlado por una electroválvula que puede ser pilotada neumática o eléctricamente dependiendo del diseño.

Además de los componentes ilustrados se necesita un sistema de enfriamiento debido a que todos los componentes, tales como SCR's, brazos y puntas generan calor debido al paso de corriente.

1.2.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA GENERACIÓN DE CALOR⁴

En un conductor eléctrico, cualquier flujo de corriente genera calor. La cantidad de calor generada depende de tres factores:

- 1) La cantidad de corriente que fluye.
- 2) La resistencia del conductor, y
- 3) La duración del flujo de corriente.

Estos mismos tres factores también afectan al calor generado en la soldadura de resistencia por puntos, la cual se basa en la siguiente expresión:

$$\text{CALOR} \approx I^2 \times R \times T$$

En la fórmula, I es la corriente, R es la resistencia del conductor y T es la duración del flujo de corriente. El calor, por lo tanto, es proporcional al tiempo que el flujo de corriente se aplique y a su valor, así como a la resistencia que presenta el conductor.

En la práctica, la fórmula no es una indicación verdadera de los efectos de los tres factores sobre la soldadura. La razón de ello es que sólo parte del calor generado se utiliza para soldar. El resto del calor se pierde por conducción hacia las partes aledañas incluido los electrodos.

No todo el calor se desarrolla en la junta de soldadura, el calor se genera en todas las partes del circuito de soldadura en proporción a la resistencia, la cantidad de corriente, la concentración y el tiempo. Sin embargo, la mayor parte del calor se

⁴ Miller Electric Mfg Co. "Handbook for Resistance Spot Welding". Publicación 003 335C. Revisado: 2003.

genera en la superficie de contacto entre las piezas de metal que se están soldando, debido a que la resistencia del material a soldar es alta porque es de acero en comparación a los demás elementos del circuito que están hecho a base de cobre o sus aleaciones las cuales tienen una resistencia baja. Otro hecho que ayuda a obtener la mayor parte de calor en la superficie de contacto, es porque el área de contacto es pequeña y la concentración de corriente es grande, en los demás componentes la concentración de corriente es baja porque tiene un área transversal mucho mayor para transportar la corriente.

En la fórmula no se menciona a la presión. Sin embargo, hay una estrecha relación entre la presión y la generación de calor en la zona de soldadura. La variable R (resistencia) es influenciada por la presión del electrodo a través de su efecto sobre la resistencia de contacto. Entre mayor sea la presión aplicada, menor será la resistencia de contacto y menor la cantidad de calor generada; al contrario, mientras menor sea la presión que se aplica, mayor será la resistencia de contacto y mayor la cantidad de calor generado.

La fuerza de los electrodos es el resultado de la presión de aire aplicada al pistón de aire conectado directamente a la cabeza. El valor de la fuerza de electrodo depende de la presión de aire efectiva, peso de la cabeza y diámetro del pistón.

La mayoría de las soldadoras tiene cartas de fuerza de electrodos en un costado de la máquina, en donde se encuentran tabuladas la presión de aire contra fuerza de electrodo. Si no hay una carta disponible para la máquina, se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Fuerza del electrodo} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2 \times P$$

Donde:

D es el diámetro del pistón en pulgadas

P es la presión de aire en libras por pulgada cuadrada (PSI)

F es la fuerza de electrodos, la cual está en libras

Esto no toma en cuenta los pesos muertos y la fricción. Puede ser necesario reajustar la velocidad de las válvulas de control cuando cambia la fuerza de los electrodos, desde un valor a otro valor 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.

1.2.4. ETAPAS DE LA SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS⁵

Hay cuatro etapas de tiempo definidas en el ciclo de soldadura de resistencia por puntos, las cuales se detalla a continuación:

1. Período de presión antes de aplicar la corriente eléctrica (SQUEEZE): El intervalo de tiempo en el que las puntas del electrodo se aproximan y se mantienen bajo presión sobre el trabajo, antes de que comience a fluir la corriente de soldadura. Este tiempo de presión es para asegurar que existe la fuerza correcta cuando se aplica la corriente de soldadura.
2. Tiempo de soldadura (WELD): El intervalo de tiempo durante el cual las puntas del electrodo se mantienen bajo presión sobre el trabajo y la corriente eléctrica de soldadura fluye a través de los metales a soldar.
3. Período de forja de presión después de cortar la corriente eléctrica (HOLD): El intervalo de tiempo en el que las puntas del electrodo se mantienen bajo presión sobre los materiales, después de cortar la corriente eléctrica. Este tiempo permite que el punto de soldadura forje y se enfríe o solidifique bajo presión.
4. Período de separación de los electrodos (OFF): El intervalo de tiempo en el que las puntas del electrodo no están en contacto con las láminas. Esto

⁵ Miller Electric Mfg Co. "Handbook for Resistance Spot Welding". Publicación 003 335C. Revisado: 2003.

permite que el trabajo o la pistola de soldar se coloque en posición para hacer el siguiente punto.

Estos pasos se pueden ver gráficamente en la Figura 1.10.

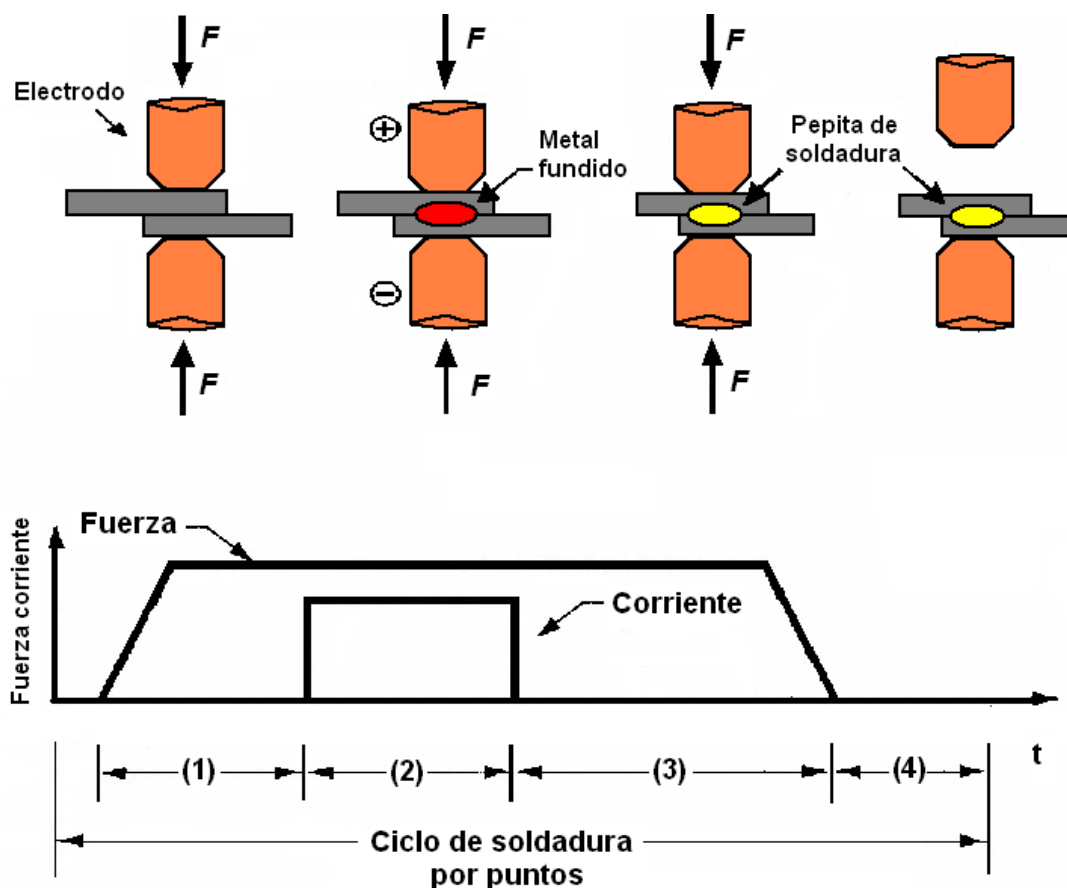


Figura 1.10 Pasos en un ciclo de soldadura de resistencia por puntos

1.2.5. TAMAÑO DE LA PEPITA DE SOLDADURA

El diámetro del punto deberá estar de acuerdo y en proporción a los espesores de las láminas que se están uniendo; en otras palabras, entre más gruesa sea la lámina, mayor será el diámetro necesario del punto.

Para evaluar la calidad de un punto de soldadura la mejor forma es realizar una prueba destructiva y examinar la pepita de soldadura, tomando en cuenta los criterios de aceptación definidos por General Motors en su Manual "Material and

Processes Standard GM 4488-M, Automotive Resistance Spot Welding Specification.”⁶, que se presenta en la siguiente tabla.

Espesor de metal más delgado mm	Diámetro de la pepita Mm
0.04 – 0.59	3.0
0.60 – 0.79	3.5
0.80 – 1.39	4.0
1.40 – 1.99	4.5
2.00 – 2.49	5.0
2.50 – 2.99	5.5
3.00 – 3.49	6.0
3.50 – 3.99	6.5
4.00 – 4.50	7.0

Tabla 1.1 Tamaño mínimo de la pepita para soldadura de resistencia por puntos

Después de que se ha especificado el diámetro del punto, puede especificarse el diámetro de la superficie de contacto del electrodo. El diámetro del punto nunca puede ser mayor que el diámetro de la superficie de contacto del electrodo, aunque sí puede ser considerablemente menor, si se utiliza un tiempo de soldadura inadecuado ó poca corriente de soldadura.

El diámetro nominal de la superficie de contacto del electrodo deberá ser aproximadamente 1/16 de pulgada mayor que el diámetro del punto requerido. La superficie de contacto de la punta debe ser siempre algo mayor que el diámetro del punto deseado para contener en forma adecuada el metal fundido caliente y para reducir al mínimo la perforación del punto, así como el achatamiento en la punta del electrodo.

Después de haber establecido el diámetro de la superficie de contacto de la punta del electrodo, puede determinarse la corriente de soldadura necesaria para hacer

⁶ General Motors. “Automotive Welding Handbook” Noviembre 1996.

el punto requerido. Aunque normalmente la corriente de soldadura se considera en términos de corriente total en amperios, en un análisis más detallado debe considerarse en términos de corriente por unidad de área de la superficie de contacto de la punta del electrodo. Un electrodo con un pequeño diámetro en la superficie de contacto solo puede asociarse con puntos pequeños y con corrientes de soldadura pequeñas. Una superficie de contacto del diámetro de la punta más grande, solo puede asociarse con puntos y corrientes de soldadura grandes.

Se debe tener claro que la ejecución exitosa de cualquier operación de soldadura de resistencia por puntos, no importa lo sencilla o complicada que sea, depende del correcto funcionamiento de las puntas del electrodo.

Al utilizar puntas de electrodo con un diámetro de $\frac{1}{4}$ de pulgada de superficie de contacto, el área de contacto es aproximadamente 0,05 pulgadas cuadradas. Si se aplica 500 libras de fuerza de soldadura al metal, a través de las puntas del electrodo, la presión de soldadura o concentración de la fuerza será determinada dividiendo la fuerza entre el área como se puede ver en la Figura 1.11. En este caso se dividen 500 libras entre 0,05 pulgadas cuadradas lo que es igual a 10.000 libras por pulgada cuadrada de presión de soldadura.

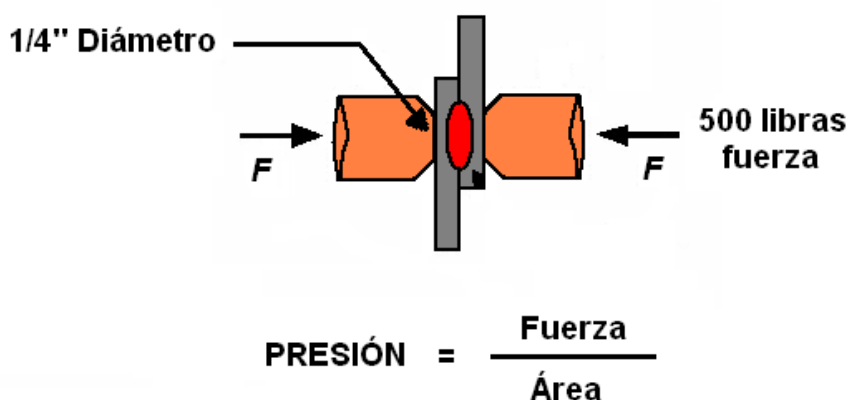


Figura 1.11 Presión de soldadura

Hay varios factores que pueden provocar áreas de contacto inadecuadas, incluso si las caras de contacto de las puntas de los electrodos son exactamente de la misma forma y tamaño como se muestra en la Figura 1.12.

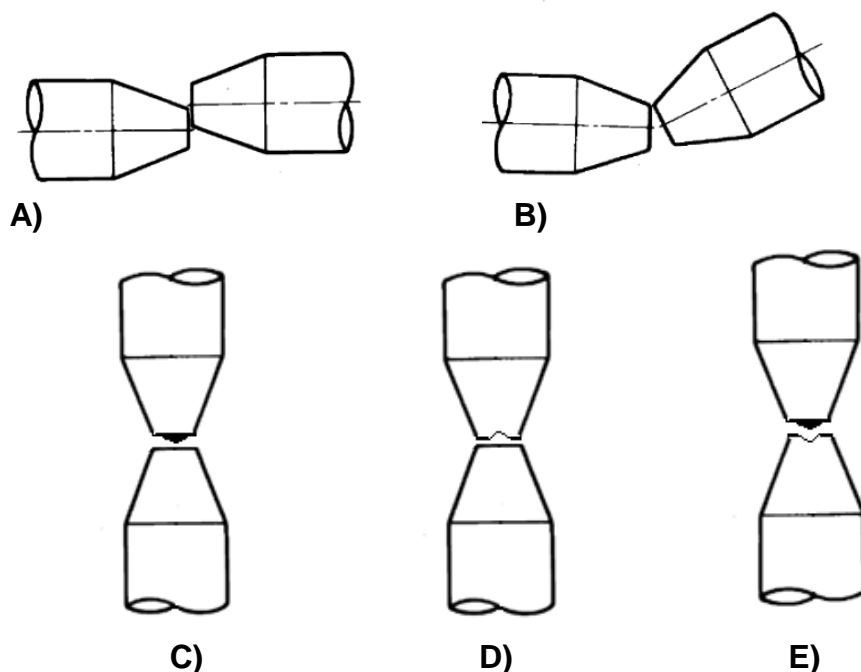


Figura 1.12 Condiciones de soldadura deficiente.

En la imagen A se muestran 2 electrodos correctamente afilados y cuyas caras están perpendiculares a sus espigas y paralelas entre sí, pero están desalineadas. El resultado de esta mala alineación es un área de contacto del electrodo bastante pequeña, debido a que solo una parte de sus caras se topan.

En la imagen B se muestra otra forma de alineamiento errónea, donde dos electrodos correctamente afilados tienen sus caras perpendiculares a sus brazos, pero cuyas superficies no están paralelas. Aquí el resultado es un área de contacto real entre las puntas muy reducidas en comparación al área total de la cara de contacto del electrodo. Otro factor que hay que señalar es que el desalineamiento de la superficie de la punta del electrodo no siempre depende del alineamiento de los brazos de la punta, ya que con frecuencia las líneas centrales de las puntas tienen cierto ángulo entre ellas porque tienen que entrar en pestañas muy estrechas. Las caras de las puntas de los electrodos deben estar paralelas y coaxiales, sin importar el ángulo o desalineamiento de los brazos.

Las tres imágenes inferiores (C, D y E) muestran resultados de las distorsiones de la punta del electrodo.

La Figura 1.12-C muestra dos electrodos perfectamente alineados y coaxiales pero con un pequeño abultamiento en la punta que con frecuencia se presenta por una pequeña captación o una condición anormal de algún tipo en la superficie. Los materiales extraños en las superficies que se van a soldar pueden provocar este abultamiento. Impurezas como metal galvanizado, selladores, polvos, escoria del metal, óxidos, compuestos o sales u óxidos entran en esta categoría. En cualquier caso, el área de contacto real que resulta de un abultamiento es sólo una pequeña parte del área total de la punta del electrodo.

La Figura 1.12-D muestra la condición inversa, donde hay una cavidad en la punta. La Figura 1.12-E muestra una combinación de abultamientos y cavidades. Ya sea que el área de contacto real sea un anillo, como en la Figura 1.12-D o alguna forma extraña como en la Figura 1.12-E, en ambos casos el resultado es una condición de soldadura deficiente.

Se debe dar la importancia necesaria a las puntas de los electrodos y su cuidado respectivo. En la mayoría de casos, la causa de puntos de baja calidad puede eliminarse por medio del mantenimiento de los electrodos, con el fin de tener lo más cerca posible de un afilado real. El efecto de un pequeño cambio en el tamaño del área de contacto de una punta de soldadura es significativo, aunque rara vez se piensa en esto.

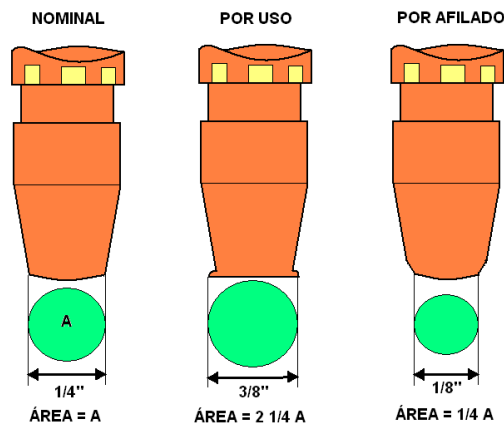


Figura 1.13 Variación del área en la punta de los electrodos

Puesto que es inevitable que haya variaciones en el área de superficie de las puntas del electrodo, como resultado del desgaste, achatamiento y afilado sucesivo, se deberá considerar cuidadosamente lo que realmente sucede cuando estas áreas aumentan o disminuyen.

Si se considera que el diámetro nominal de contacto de un electrodo de $\frac{1}{4}$ de pulgada se aumenta en $\frac{1}{8}$ de pulgada a su diámetro después de un uso limitado, ahora el diámetro es $\frac{3}{8}$ de pulgada y el área de contacto de 2 y $\frac{1}{4}$ veces el área de la punta original. Si por alguna razón en el afilado se provoca que el diámetro se reduzca hasta un tamaño de solo $\frac{1}{8}$ de pulgada menos del diámetro original, el área resulta sólo de $\frac{1}{4}$ de la inicial. El resultado es un cambio en el área de nueve veces entre el máximo y el mínimo. Este cambio de nueve veces en el área tiene un efecto correspondiente de nueve veces sobre la cantidad de corriente por unidad de área y la concentración de la fuerza o presión de soldadura.

1.2.6. TIPOS DE PORTACAPS Y CAPS PARA LA EJECUCIÓN DE LA SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS⁷

Para el proceso de soldadura de resistencia por puntos se necesita provocar presión con dos puntas sobre la lámina a soldar, estas “puntas” están compuestas de dos cuerpos conocidos como portacap y cap. Se los divide en dos cuerpos, debido a que por el uso el cap se va desgastando y deformando, teniendo que ser cambiado una vez que se observe un desgaste considerable utilizando el mismo portacap; frecuentemente el cap va insertado a presión en el portacap.

Una ejecución exitosa de cualquier tipo de soldadura por resistencia depende mucho del tipo de portacap y cap que se escoja.

Los portacaps y caps enfriados por agua deben ser capaces de soportar la presión de soldadura, conducir la corriente eléctrica y disipar el calor producido. Si la presión a la cual van a ser sometidos no es considerable, se puede realizar

⁷ General Motors. “Automotive Welding Handbook” Noviembre 1996.

de conductores eléctricos básicos, de lo contrario se debe escoger bien el tipo de material debido a la presión que van a soportar y el calor que van a disipar.

Los caps y portacaps son manufacturados de diferentes formas y tamaños, además de estar hechos de diferentes aleaciones. Dependiendo del material con el que se construya los electrodos se seleccionará el tamaño y la forma de los mismos, tal como se muestra en la Figura 1.14.

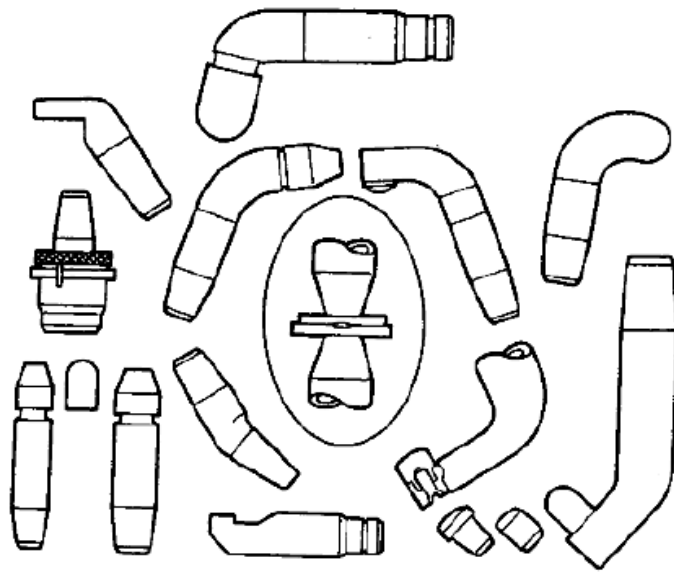


Figura 1.14 Formas de los portacaps

Las aleaciones de cobre Clase II y Clase III son las que se recomiendan para la construcción de los portacaps para las operaciones de soldadura por resistencia. Otros factores que afectan la elección del tipo de material para la construcción de los caps y portacaps son el “sticking” y el “pick-up”, que se deben principalmente a que el área de contacto es muy pequeña o la corriente de soldadura es muy alta.

A continuación se detallan los tipos de aleaciones con que se fabrican, recomendados por la RWMA (Resistance Welding Manufacture’s Association).

- Clase I (Zirconio Cobre): Aleación de Clase I, es un buen sustituto del cobre puro. Especialmente recomendado para soldar aluminio.

- Clase II (Cromo - Zirconio Cobre): Aleación de Clase II, es un material específicamente recomendado para realizar electrodos en procesos de soldadura por resistencia como costura y soldadura de punto en aceros laminados al frío o caliente.
- Clase III (Berilio Cobre): Aleación Clase III, es especialmente recomendado para soldadura por proyección debido a que necesitan una fuerza más alta que la que soportan los elementos fabricados con aleación Clase II.

El diámetro del cap y portacap generalmente es de 3 tamaños: de ½” utilizado en aplicaciones de soldadura especial y nunca deben ser usados con una fuerza mayor a 670 libras; de 5/8” comúnmente usado en soldaduras con una fuerza menor a 1200 libras; y de ¾” que se utiliza en procesos de soldadura que necesitan más de 1200 libras de fuerza.

Los caps y portacaps no deben calentarse, por lo que el sistema de enfriamiento a través de agua es muy importante. El caudal de enfriamiento debe estar sobre ½ galón por minuto por cap, especialmente en procesos de soldadura de metales duros y galvanizados.

El agua que proviene de la “entrada” debe salir por el tubo deflector con máxima eficiencia de enfriamiento, por lo que el largo del tubo deflector es muy importante. En otras palabras, debe existir una distancia de 1/8” a 1/4” entre la punta del portacap y la punta del tubo deflector, tal como se muestra en la Figura 1.15.

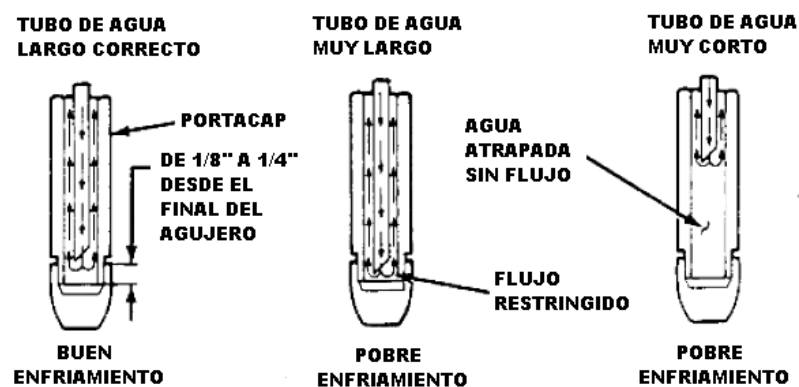


Figura 1.15 Enfriamiento de los portacaps.

1.2.7. PRUEBAS DE CONTROL DESTRUCTIVAS⁸

Las pruebas de control destructivas hacen posible visualizar físicamente cual es el tamaño real de la pepita de soldadura, asegurando así la calidad de los puntos que realiza la soldadora.

Estas pruebas destructivas no se deben realizar en productos terminados en vista de que se debe mutilar las partes para revisar el producto de la soldadura de resistencia por puntos; generalmente se utiliza bandas rectangulares llamadas probetas que tengan las mismas propiedades metálicas del producto original.

La prueba tipo “peel” es una de las más aplicadas como pruebas de control destructivas para procesos de soldadura de resistencia por puntos. Consiste en realizar un punto de soldadura en uno de los extremos de las probetas y luego levantar una lámina de la otra para revelar el diámetro de la pepita de soldadura tal como se muestra en la Figura 1.16.

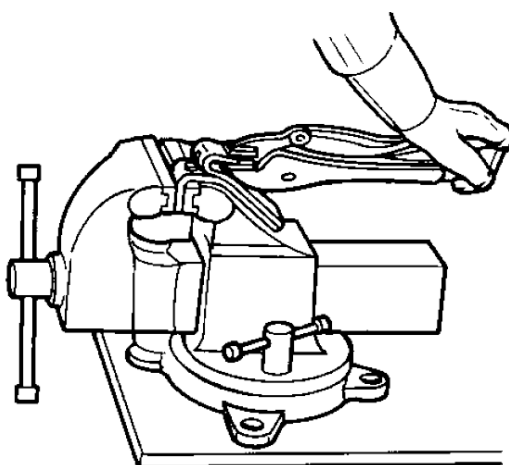


Figura 1.16 Prueba de control destructiva tipo “peel”.

Las pruebas de control son satisfactorias cuando la pepita de soldadura es retirada de la más fina de las 2 piezas de metal y cumple con el tamaño especificado en la Tabla 1.1 Tamaño mínimo de la pepita para soldadura de resistencia por puntos.

⁸ General Motors. “Automotive Welding Handbook” Noviembre 1996.

La prueba tipo cincel se utiliza frecuentemente en piezas reales que ya han sido soldadas. Consiste en introducir la punta del cincel entre 2 puntos ó en los extremos de un solo punto de soldadura y golpear con un martillo como se muestra en la Figura 1.17.

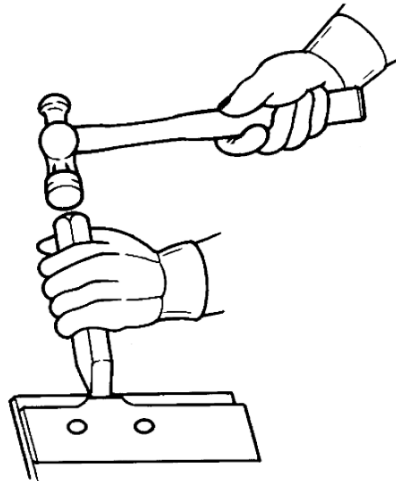


Figura 1.17 Prueba de control destructiva tipo cincel.

Si las placas se levantan pero los puntos de soldadura se mantienen firmes se puede concluir que la soldadura es de buena calidad, por el contrario si la soldadura no es correcta las placas y los puntos se levantan.

Al ser pruebas de carácter destructivo, si se realizan en piezas de producción, se deben realizar en sitios donde se pueda luego volver a enderezar a golpe con martillo.

1.2.8. PRECAUCIONES EN LA EJECUCIÓN DE LA SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS

Existen otros aspectos importantes que se deben considerar al momento de realizar soldadura de resistencia por puntos; estos son, la separación entre puntos y la distancia al borde o recubrimiento.

La separación entre puntos de soldadura o paso es la distancia entre los centros de dos puntos adyacentes. Esta distancia debe ser la necesaria para que, una vez unidas las piezas, el conjunto presente unas condiciones estructurales apropiadas, lo cual no se consigue si se aplica puntos de soldadura insuficientes. Sin embargo, esta distancia no puede ser tan pequeña, ya que, si los puntos están muy próximos entre sí, durante el proceso de soldadura, se produce una derivación de corriente por el punto ya realizado, disminuyéndose por tanto la cantidad de corriente de soldadura efectiva.

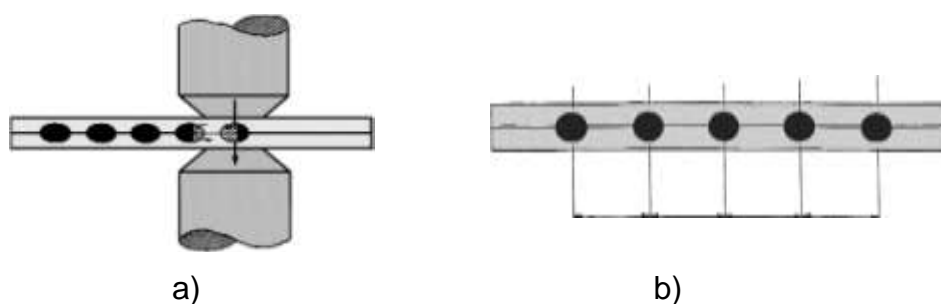


Figura 1.18 Separación entre puntos: a) Incorrecta, b) Correcta

Esta derivación de corriente se denomina *efecto Shunt*, y conlleva un gasto extra de energía eléctrica que se pierde a través de los puntos próximos, y el riesgo de obtener puntos de soldadura de calidades diferentes según sea mayor o menor el efecto de derivación de corriente.

La distancia recomendada entre puntos en el armado y reparación de carrocerías, para que no ocurra este efecto, oscila entre 30 y 40 mm, debiendo respetar como referencia la distancia existente originalmente.

Otro aspecto que se debe considerar es la distancia al borde o recubrimiento, la cual se entiende como la longitud medida desde el centro del punto de soldadura hasta el borde de la lámina. Esta distancia debe ser suficientemente pequeña para garantizar una unión efectiva en los bordes de las chapas, pero no puede ser tan pequeña como se desee, ya que si esta distancia es insuficiente, puede causar:

- Expulsión del material fundido por la junta, debilitando la soldadura.
- Deformaciones de los bordes de las piezas, debido a la presión ejercida por los electrodos.
- Deterioro de los electrodos, que se ensucian con gran facilidad.

La Figura 1.19 indica gráficamente la distancia mínima que debe tener el punto de soldadura con respecto a los bordes de las láminas a unir.

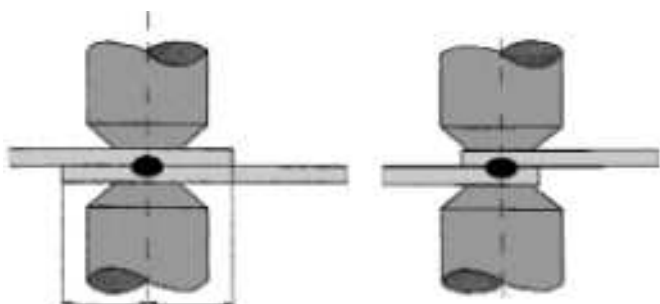


Figura 1.19 Distancia al borde

El recubrimiento viene dado, para este tipo de trabajos, por la siguiente expresión:

$$R = 2,5 d \text{ (mm)}$$

Siendo:

R = Recubrimiento, en mm.

d = Diámetro de las puntas de los electrodos, en mm.

1.3. PROYECTO A DESARROLLAR

Para este proyecto se trabaja con una soldadora de resistencia por puntos de la marca: ARO, modelo: N-302, serie No.: VR231111 y frecuencia: 50/60Hz. como se puede ver en la Figura 1.20.



a)



b)

Figura 1.20 Soldadora de punto: a) Vista frontal, b) Dato de placa

Las características de la soldadora de resistencia por punto se presentan en la Tabla 1.2.

CAPACIDAD (para profundidad útil de 230mm)	
Plancha de acero decapado	2,5 + 2,5 mm
Acero común	10 + 10 mm
ESFUERZO DE LOS ELECTRODOS (para profundidad útil de 230mm)	
	Regulable de 60 a 2000 Kg.
TENSIÓN SECUNDARIA	1,8 a 3,6 V
INTENSIDAD SECUNDARIA	
En corto-circuito	15.000 A
Para planchas de 1 + 1	13.000 A
INTENSIDAD TÉRMICA	2.900 A
POTENCIA (KVA)	
Para conexión	17 a 33
Máximo de soldadura	43
Para coeficiente de utilización de 50%	15
Para coeficiente de utilización de 100%	10,5
CONEXIÓN	
	220V
Sección del cable	14 mm ²
Fusibles de gran inercia	64 a 125 A
PORTA-ELECTRODOS	
Diámetro	40 mm
Alcance	210 mm
Profundidad útil	Regulable de 230 a 545 mm
ELECTRODOS (Cono No. 3 al 10%)	
Diámetro	25 mm
CIRCULACIÓN DE AGUA	
Diámetro de 9 a 16 mm	300 litros/hora

Tabla 1.2 Características soldadora de resistencia por puntos ARO

La soldadora de resistencia por puntos consta de un transformador monofásico con un bobinado de entrada que soporta 220V y con 5 taps de salida para poder variar en pasos fijos el valor de la intensidad de la corriente de soldadura.



a)

b)

Figura 1.21 a) Transformador, b) Selector de intensidad de corriente

Además la soldadora consta de un contactor, el cual se encarga de interrumpir el paso de energía eléctrica. Cuando el contactor es accionado se energiza el primario del transformador y por ende se tiene energía en el secundario del transformador al cual están acoplados los brazos.



Figura 1.22 Contactor trifásico 150 Amperios

El accionamiento del cilindro que controla la apertura y cierre de los brazos es totalmente neumático, se realiza a través del pedal, el cual contiene una válvula neumática 5 vías – 2 posiciones para el control.



a)



b)

Figura 1.23 a) Pedal de accionamiento, b) cilindro neumático

Por último, se tiene un circuito de control, cuya función es controlar el tiempo que permanece energizada la bobina del contactor.

El circuito de control toma la señal de un fin de carrera que está en la parte inferior de la soldadora para iniciar su ciclo, en su parte delantera tiene un interruptor para encender el control, una lámpara para indicar que está encendido y un potenciómetro para regular el tiempo de soldadura.

El circuito de control está basado en resistencias fijas y variables, capacitores, diodos y transistores para realizar el control de tiempo que permanece energizada la bobina del contactor.



a)



b)

Figura 1.24 Circuito de control: a) Vista frontal, b) Vista interior

La soldadora de resistencia por puntos marca ARO tenía los siguientes problemas:

- El sistema que controla el tiempo que permanece energizada la bobina del contactor no funcionaba, se quemaba los transistores, resistencias, diodos y demás componentes.
- El selector de intensidad de corriente no funciona en todos sus rangos por tratarse de un elemento mecánico que tiene desgaste en sus contactos eléctricos.
- El punto de soldadura tiene mucha “esquirla” debido a que no se puede regular el tiempo de squeeze.

Para solucionar los problemas existentes en la soldadora de resistencia por puntos se propone la automatización del equipo, que consiste en desarrollar los siguientes puntos:

- Diseñar e implementar un convertor estático AC/AC con control de fase directo, utilizando elementos de estado sólido como los SCR's, con los cuales se variará la corriente de soldadura del 50 al 99% de su capacidad.
- Diseñar e implementar un control on-off por sobret temperatura en el transformador utilizando un switch de temperatura que contiene un contacto cerrado, el cual cambia de estado cuando la temperatura sobrepasa los 80°C.
- Diseñar e implementar la opción de weld / no weld para cumplir con un ciclo de soldadura sin paso de corriente, con el fin de realizar el alineamiento de las puntas de la soldadora.
- Diseñar e implementar un control on-off por falta de aire utilizando un sensor digital de presión que trabaja dentro de un lazo de histéresis.
- Diseñar e implementar el ingreso de datos para el proceso de soldadura de resistencia por puntos utilizando un teclado matricial y una pantalla LCD.
- Diseñar e implementar el sistema de control necesario utilizando microcontroladores PIC 16F877A.
- Diseñar e implementar todas las protecciones necesarias.

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE POTENCIA

La soldadora de resistencia por puntos requiere tener un control del flujo de potencia, variando el valor del voltaje RMS con el que se va a alimentar al transformador; controlando el valor de voltaje se puede controlar el valor de corriente que se aplica a las placas metálicas para realizar el ciclo de soldadura.

Basados en el ciclo de la conversión de la energía eléctrica, se necesita realizar REGULACIÓN AC/AC y se utiliza para ello un conversor AC/AC por control de fase directo, ya que variando el ángulo de disparo de los tiristores se puede controlar el valor del voltaje RMS, además de ser fácilmente implementado y tener control continuo de potencia.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de bloques que constituyen la soldadora de resistencia por puntos.

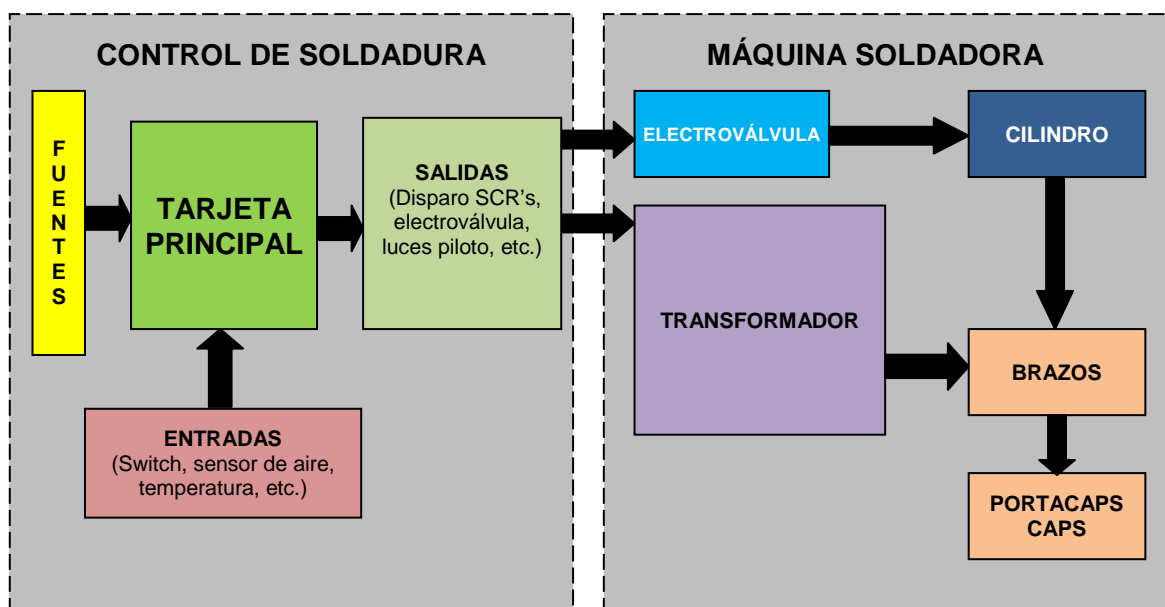


FIG. 2.1. Diagrama de bloques de la soldadora de resistencia por puntos

De los bloques que se observa en la figura anterior, el transformador, cilindro brazos, portacaps y caps son originales del equipo; se detalla el funcionamiento individual de cada nuevo bloque que constituye la soldadora de resistencia por puntos.

2.1. DISEÑO DEL CONVERTOR AC/AC CON CONTROL DE FASE DIRECTO

En la Figura 2.2 se muestra el circuito de fuerza que se implementa para entregar el voltaje RMS necesario para suministrar la corriente suficiente para la soldadura; el circuito consta de las siguientes elementos de potencia: el transformador de potencia, los SCR's y una resistencia de potencia. El circuito necesita una alimentación monofásica de 220V, la soldadora se conecta y desconecta de la red a través de un breaker principal.

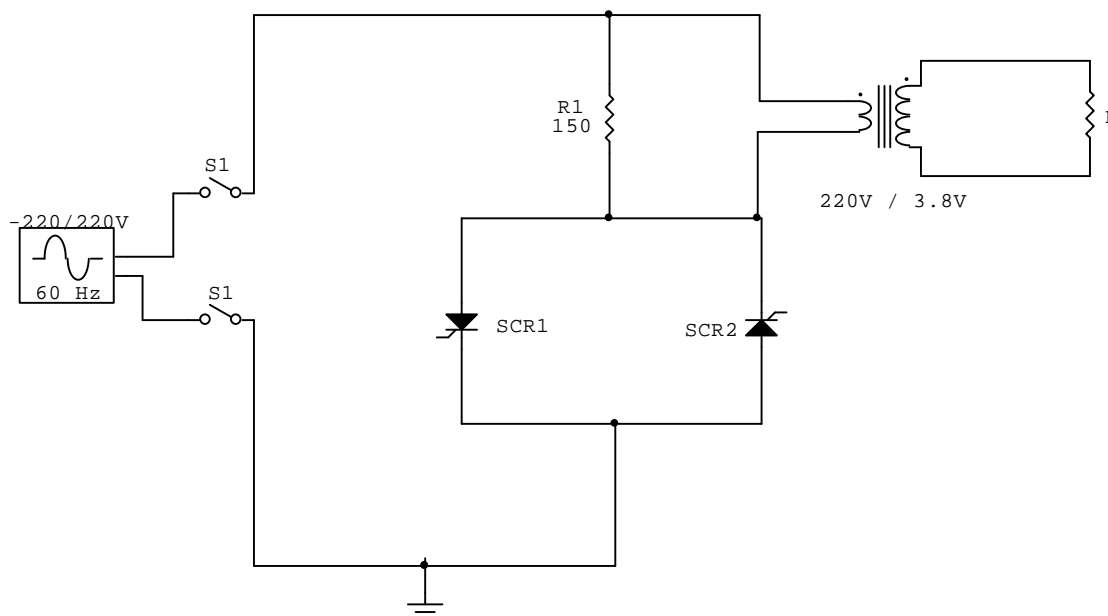


Figura 2.2 Conversor AC/AC con control de fase directo

Se utiliza el mismo transformador de la máquina soldadora, por lo que se usan los datos del catálogo de la soldadora para dimensionar los SCR's.

Potencia máxima de soldadura = 43 [KVA]

Voltaje en el secundario del transformador = 3,6 [V]

$$I = \frac{P}{V} = \frac{43[KVA]}{3,6[V]}$$

Corriente en el secundario del transformador = 11,95 [KA]

$$n = \frac{V_{primario}}{V_{secundario}} = \frac{220[V]}{3,6[V]}$$

$$n = 61,11$$

$$I_{primario} = \frac{I_{secundario}}{n} = \frac{11.95 [KA]}{61,1}$$

$$I_{primario} = 195,5 [A]$$

El convertidor AC/AC por control de fase, realiza la conexión del voltaje de red en cualquier punto de la semionda de forma sincronizada. De esta forma se puede recortar el voltaje sinusoidal en sectores más pequeños, permitiendo regular la potencia aplicada a la carga.

Considerando que cada semionda sinusoidal de red corresponde a una conducción de 180° (360° para un ciclo completo), variando el ángulo de disparo de 180° a 0° se consigue regular la potencia aplicada a la carga del 0 al 100%, a este valor se le llama ángulo de retardo y se indica normalmente con la letra α (alfa). El regulador está constituido por dos SCR's en antiparalelo, los cuales se colocan en una de las líneas de alimentación del voltaje hacia la carga.

2.1.1. ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DE UN CONVERTOR AC/AC POR CONTROL DE FASE⁹

En la Figura 2.3 se muestra el voltaje de entrada, voltaje de salida y pulsos en las compuertas de los SCR's al regulador AC/AC monofásico, a un ángulo α de disparo.

⁹ Muhammad, Rashid. "Electrónica de Potencia". Circuito, dispositivos y aplicaciones". Año 1993.

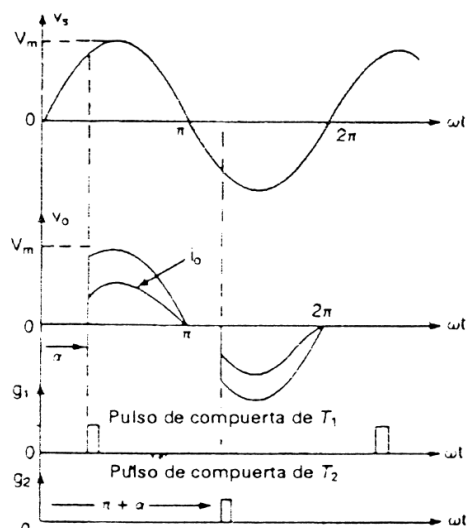


Figura 2.3 Formas de onda de un regulador AC/AC con control de fase directo

La soldadora de resistencia por puntos ARO tenía un contactor electromecánico para controlar el paso de corriente para realizar la soldadura; el regulador AC/AC con control de fase utiliza elementos de estado sólido (SCR) para realizar el mismo control.

Las ventajas de trabajar con elementos de estado sólido son:

- No hay arco eléctrico, lo cual implica que no hay ruido eléctrico ni desgaste.
- Son rápidos (pocos microsegundos para el cierre y centenas de microsegundos para la apertura), pueden realizar la conexión o desconexión del circuito en cualquier punto de la onda de voltaje.
- Su vida media, a diferencia de los elementos electromecánicos, no depende del número de maniobras, logrando frecuencias de actuación muy elevadas (1kHz).
- Menor consumo propio para realizar sus accionamientos.
- Permiten una conexión gradual haciendo un control de fase en los primeros ciclos a fin de evitar las puntas de conexión cuando en la carga hay elementos magnéticos. De igual forma la apertura puede realizarse en un paso por cero de la intensidad para suprimir sobretensiones causadas por los di/dt en las inductancias.

Análisis matemático de las formas de onda de un regulador AC/AC con control de fase directa:

Voltaje RMS de salida:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt}$$

$$V_{RMS}^2 = \frac{1}{2\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi} ((\sqrt{2} \cdot Vf \cdot \sin wt)^2 dwt) + \int_{\pi+\alpha}^{2\pi} ((\sqrt{2} \cdot Vf \cdot \sin wt)^2 dwt) \right]$$

$$V_{RMS}^2 = \frac{Vf^2}{\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi} (\sin wt)^2 dwt + \int_{\pi+\alpha}^{2\pi} (\sin wt)^2 dwt \right]$$

$$V_{RMS} = Vf \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{1/2}$$

Si $\alpha = 0$ entonces:

$$V_{RMS} = Vf \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - 0 + \frac{\sin 2 \cdot 0}{2} \right) \right]^{1/2}$$

$$V_{RMS} = Vf \left[\frac{1}{\pi} (\pi - 0 + 0) \right]^{1/2}$$

$$V_{RMS} = Vf \rightarrow 100\% I_N$$

Si $\alpha = 0,63\pi$ entonces:

$$V_{RMS} = Vf \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - 0,63\pi + \frac{\sin 2 \cdot 0,63\pi}{2} \right) \right]^{1/2}$$

$$V_{RMS} = Vf \left[\frac{1}{\pi} (\pi - 0,63\pi - 0,12\pi) \right]^{1/2}$$

$$V_{RMS} = \frac{Vf}{2} \rightarrow 50\% I_N$$

Variando el ángulo de disparo desde 0 hasta $0,63\pi$ se puede controlar el valor del voltaje RMS desde el 50% al 100%. A continuación se realiza el análisis matemático para las condiciones extremas en las que trabajará el convertidor.

i) Para $\alpha = 0^\circ$

En la carga:

$$V_{RMS} = Vf \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - 0 + \frac{\sin 2x0}{2} \right) \right]^{1/2}$$

$$V_{RMS} = Vf \left[\frac{1}{\pi} (\pi - 0 + 0) \right]^{1/2}$$

$$V_{RMS} = Vf [V]$$

$$I_{RMS} = \frac{V_{RMS}}{R}$$

$$I_{RMS} = \frac{Vf}{R} [A]$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot i(t) dt$$

$$P = \frac{V_{RMS}^2}{R} [W]$$

En la línea:

$$V_{RMS} = Vf [V]$$

$$P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$$

$$P = \frac{Vf^2}{\pi \cdot R} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) [W]$$

$$S = V_{RMS} \cdot I_{RMS}$$

$$S = V_{RMS LINEA} \cdot \frac{V_{RMS CARGA}}{R} [VA]$$

$$fp = \frac{P}{S} = \frac{V_{RMS CARGA}^2 \cdot R}{R \cdot V_{RMS LINEA} \cdot V_{RMS CARGA}} = \frac{V_{RMS CARGA}}{V_{RMS LINEA}} = \frac{Vf}{Vf} \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{1/2}$$

$$fp = \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{1/2}$$

$$fp = \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - 0 + \frac{\sin 2x_0}{2} \right) \right]^{1/2}$$

$$fp = 1$$

Para el cálculo de la potencia reactiva Q, se utiliza el análisis de Fourier para formas de onda distorsionadas.

$Q = V_1 \cdot I_1 \cdot \sin(\varphi_{v1} - \varphi_{i1})$, donde:

$$I_1 = \frac{C_1}{\sqrt{2}}; \quad C_1 = \sqrt{A_1^2 + B_1^2}; \quad \varphi_i = \tan^{-1} \left(\frac{A_1}{B_1} \right)$$

Cálculo de A_1 :

$$A_1 = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) \cdot \cos(\omega t) \cdot d\omega t$$

$$A_1 = \frac{2}{2\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi} \frac{\sqrt{2}Vf}{R} \cdot \sin \omega t \cdot \cos \omega t \cdot d\omega t + \int_{\pi+\alpha}^{2\pi} \frac{\sqrt{2}Vf}{R} \cdot \sin \omega t \cdot \cos \omega t \cdot d\omega t \right]$$

$$A_1 = \frac{\sqrt{2}Vf}{4 \cdot \pi \cdot R} [\cos 2\alpha - 1]$$

$$B_1 = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) \cdot \sin \omega t \cdot d\omega t$$

$$B_1 = \frac{2}{2\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi} \frac{\sqrt{2}Vf}{R} \cdot \sin \omega t \cdot \sin \omega t \cdot d\omega t + \int_{\pi+\alpha}^{2\pi} \frac{\sqrt{2}Vf}{R} \cdot \sin \omega t \cdot \sin \omega t \cdot d\omega t \right]$$

$$B_1 = \frac{\sqrt{2} \cdot Vf}{\pi \cdot R} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)$$

Entonces:

$$A_1 = \frac{\sqrt{2} \cdot Vf}{4 \cdot \pi \cdot R} (\cos(2x_0) - 1)$$

$$A_1 = 0$$

$$B_1 = \frac{\sqrt{2} \cdot Vf}{\pi \cdot R} \left(\pi - 0 + \frac{\sin 2x_0}{2} \right)$$

$$B_1 = \frac{\sqrt{2} \cdot Vf}{\pi \cdot R} (\pi)$$

$$B_1 = \frac{\sqrt{2} \cdot Vf}{R}$$

$$C_1 = \sqrt{0^2 + \frac{2xVf^2}{R^2}}$$

$$C_1 = \frac{\sqrt{2} \cdot Vf}{R}$$

$$I_1 = \frac{C_1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2} \cdot Vf}{\sqrt{2} \cdot R}$$

$$I_1 = \frac{Vf}{R}$$

$$\varphi_v = 0^\circ$$

$$\varphi_i = \tan^{-1} \left(\frac{0}{\frac{\sqrt{2} \cdot Vf}{R}} \right)$$

$$\varphi_i = 0^\circ$$

$$Q = Vf \cdot \frac{Vf}{R} \cdot \sin(0 - 0)$$

$$\mathbf{Q = 0 [VAR]}$$

ii) Para $\alpha = 0,63\pi^\circ$

En la línea:

$$V_{RMS} = Vf [V]$$

$$P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$$

$$P = \frac{Vf^2}{R} [W]$$

$$S = V_{RMS} \cdot I_{RMS}$$

$$S = V_{RMS LINEA} \cdot \frac{V_{RMS CARGA}}{R} [VA]$$

$$fp = \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - 0,63\pi + \frac{\sin 2x0,63\pi}{2} \right) \right]^{1/2}$$

$$fp = 0,5$$

$$A_1 = \frac{\sqrt{2} \cdot Vf}{4 \cdot \pi \cdot R} (\cos(2x0,63\pi) - 1)$$

$$A_1 = -0,189 \frac{Vf}{R}$$

$$B_1 = \frac{\sqrt{2} \cdot Vf}{\pi \cdot R} \left(\pi - 0,63\pi + \frac{\sin 2x0,63\pi}{2} \right)$$

$$B_1 = 0,359 \frac{Vf}{R}$$

$$C_1 = \sqrt{\left(-0,189 \frac{Vf}{R} \right)^2 + \left(0,359 \frac{Vf}{R} \right)^2}$$

$$C_1 = 0,403 \frac{Vf}{R}$$

$$I_1 = \frac{C_1}{\sqrt{2}} = \frac{0,403 \cdot Vf}{\sqrt{2} \cdot R}$$

$$I_1 = 0,285 \cdot \frac{Vf}{R}$$

$$\varphi_v = 0^\circ$$

$$\varphi_i = \tan^{-1} \left(\frac{-0,189 \frac{Vf}{R}}{0,359 \cdot \frac{Vf}{R}} \right)$$

$$\varphi_i = \tan^{-1}(-0,526)$$

$$\varphi_i = -27,76^\circ$$

$$Q = Vf \times 0,285 \frac{Vf}{R} \times \sin(0 - 27,76)$$

$$Q = 0,132 \frac{Vf^2}{R} [VAR]$$

2.1.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS TIRISTORES DEL CONVERTOR AC/AC

Basado en los datos de la soldadora se calcula la corriente máxima que se necesita en el primario del transformador; esta corriente máxima se obtiene en la peor condición de trabajo del regulador en $\alpha = 0^\circ$. De estas condiciones de trabajo se puede calcular el valor de la resistencia para diseñar los elementos de potencia del regulador.

$$\text{Datos: } V_{RMS} = 220[V] I_{RMS} = 195,5[A]$$

$$R = \frac{V_{RMS}}{I_{RMS}} = \frac{220[V]}{195,5[A]}$$

$$R = 1,125 [\Omega]$$

Corriente eficaz de un tiristor (I_{TRMS})

$$I_{TRMS}^2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R^2} \int_{\alpha}^{\pi} (\sqrt{2} \cdot Vf \cdot \sin(wt))^2 \cdot dwt$$

$$I_{TRMS}^2 = \frac{2 \cdot Vf^2}{2 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot \left[\int_{\alpha}^{\pi} (\sin(wt))^2 \cdot dwt \right]$$

$$I_{TRMS}^2 = \frac{Vf^2}{2 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot \left[\pi - \alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right]$$

$$\text{Donde: } \alpha = 0^\circ \text{ y } R = 1,125[\Omega]$$

$$I_{TRMS}^2 = \frac{220^2}{2 \cdot \pi \cdot 1,125^2} \cdot \left[\pi - 0 - \frac{\sin 2 \cdot 0}{2} \right]$$

$$I_{TRMS}^2 = 19121$$

$$I_{TRMS} = 138,2[A]$$

Corriente promedio de un tiristor (I_{TAV})

$$I_{TAV} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} \cdot Vf \cdot \sin wt \cdot dwt$$

$$I_{TAV} = \frac{\sqrt{2} \cdot Vf}{2 \cdot \pi \cdot R} (\cos \alpha + 1)$$

Donde: $\alpha = 0^\circ$ y $R = 1,125[\Omega]$

$$I_{TAV} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{2 \cdot \pi \cdot 1,125} (\cos 0 + 1)$$

$$I_{TAV} = \mathbf{88,03[\Omega]}$$

Voltaje pico inverso:

$$V_{PI} = \sqrt{2} \cdot Vf = \sqrt{2} \cdot 220$$

$$V_{PI} = \mathbf{311,1 [V]}$$

Debido a la estandarización de insumos que se mantiene en la empresa y después de comparar la hoja de datos técnicos del elemento y los cálculos, se selecciona el módulo tiristor de potencia marca SEMIKRON, modelo SKKT 72/12E. El módulo consta de 2 SCR's que se pueden colocar en inverso paralelo y tiene los pines necesarios para conectar la señal de control entre el cátodo y la compuerta de cada SCR.

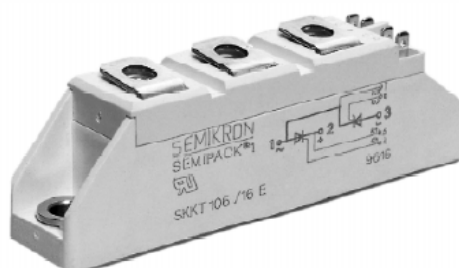


Figura 2.4 Módulo marca SEMIKRON, modelo SKKT 72

En la Tabla 2.1 se tiene una comparación entre los datos del elemento y los datos calculados, cabe recordar que la corriente está diseñada para la máxima potencia que el transformador puede soportar.

Parámetro	Dato calculado	Datos SEMIKRON SKKT 71/12 E
$I_{TRMS}[A]$	138,2	155
$I_{TAV}[A]$	88,03	80
$V_{PI}[V]$	311,1	1200

Tabla 2.1 Comparación datos elemento de potencia

En la siguiente figura se muestra como queda instalado finalmente el módulo de SCR marca SEMIKRON en la soldadora de resistencia por puntos.



Figura 2.5 Módulo marca SEMIKRON instalado en la soldadora.

2.1.3. PROTECCIONES PARA EL CONVERTOR AC/AC

Para la operación confiable de los dispositivos de potencia es necesario asegurar que en ningún momento las condiciones del circuito excedan sus especificaciones técnicas mediante la adición de protecciones contra sobrevoltaje, sobrecorriente y sobrecalentamiento. En la práctica el dispositivo de potencia está protegido contra: 1) excesos térmicos, mediante disipadores de calor; 2) dv/dt altos, mediante circuitos de apoyo, y; 3) condiciones de falla, mediante fusibles.

2.1.3.1. DISEÑO DEL DISIPADOR DE CALOR

Los dispositivos de potencia generan calor debido a las pérdidas por operación y conmutación. El calor generado debe transferirse del dispositivo a un medio más frío con el fin de mantener al dispositivo a una temperatura de operación dentro del rango especificado.

La transferencia de calor puede llevarse a cabo mediante conducción, convección o radiación, ya sea natural o de aire forzado. El módulo tiristor de potencia es enfriado por convección.

Para calcular el valor del disipador se utiliza un técnica gráfica, basados en cálculos anteriores y en la gráfica de la hoja de datos del módulo SEMIKRON.

$$I_{RMS} = 195,5[A] \quad T_{amb} = 25^{\circ}C$$

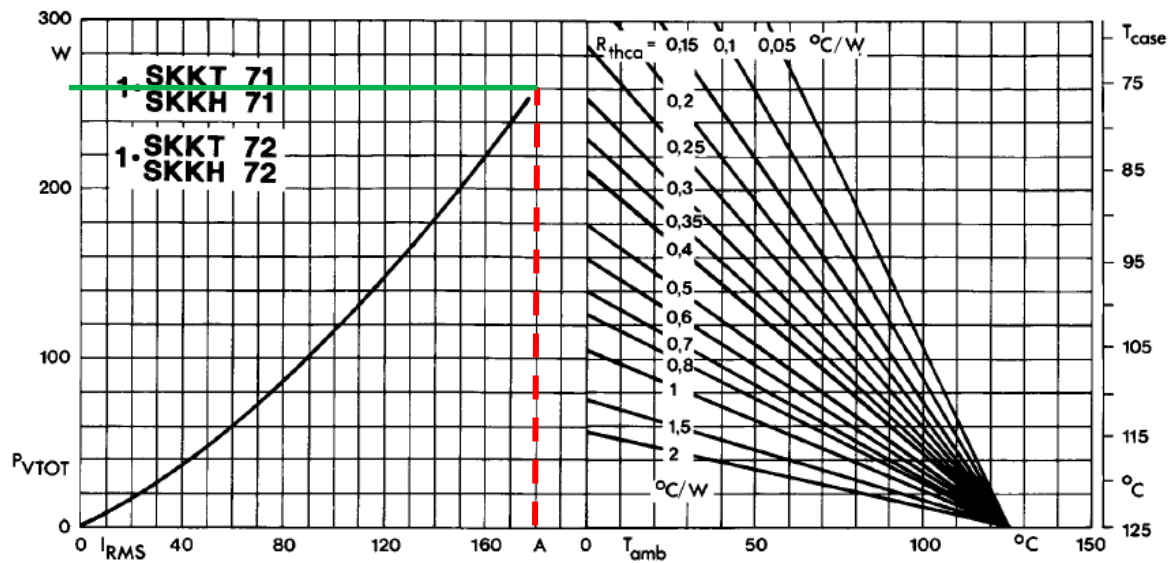


Figura 2.6 Potencia disipada por módulo vs. Corriente RMS y temperatura de la carcasa

Datos:

$$R_{th-jc} = 0,19[^{\circ}C/W]$$

$$R_{th-ch} = 0,1[^{\circ}C/W]$$

$$T_j \leq 0,07 [^{\circ}C]$$

$$T_A = 25 [^{\circ}C]$$

$$P_D = 260 [W]$$

$$R_{th-h} = \frac{T_j - T_A}{P_D} - R_{th-jc} - R_{th-ch}$$

$$R_{th-h} = \frac{125 - 25}{260} - 0,19 - 0,1$$

$$R_{th-h} = 0,09 [^{\circ}C/W]$$

Se escoge un disipador según el cálculo y la disponibilidad en el mercado. En la Figura 2.7 se observa el disipador de calor escogido.

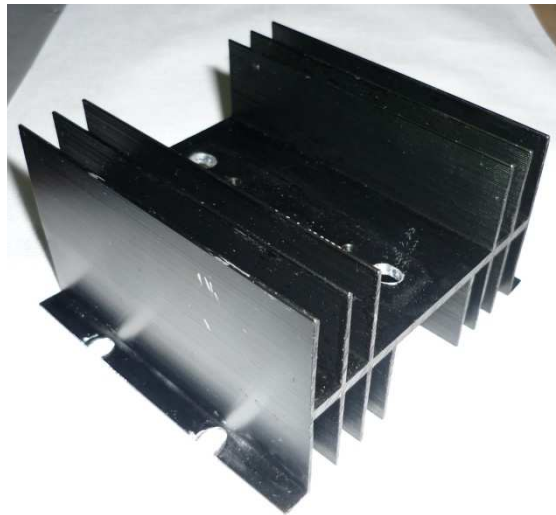


Figura 2.7 Disipador de calor escogido.

2.1.3.2. DISEÑO DE LA RED SNUBBER

En los dispositivos de potencia como SCR's existe transitorios de voltaje debido al proceso de recuperación inversa y a las acciones de conmutación.

Con el fin de limitar el transitorio de voltaje dv/dt dentro de la especificación máxima permisible en la hoja técnica del módulo, se va a conectar un circuito de apoyo RC (red snubber). Cuando se conecta un par de SCR's en inverso paralelo el circuito debe ser eficaz en ambas direcciones. En la figura siguiente se muestra el circuito de apoyo no polarizado.

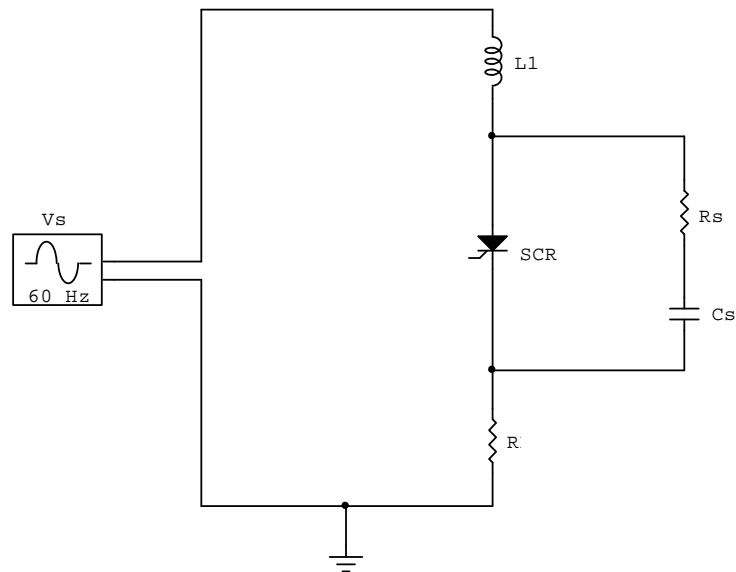


Figura 2.8 Circuito no polarizado para SCR's.

Del siguiente circuito, se tiene:

$$V_S = (R_S + R)i + \frac{1}{C} \int i \cdot dt + V_{C(t=0)}$$

$$i_{(t=0)} = \frac{V_S}{R_S + R} \cdot e^{\frac{-t}{(R_S+R) \cdot C_S}}$$

Reemplazando se obtiene el voltaje en el tiristor:

$$v_T(t) = V_S - R_L \cdot i(t) = V_S - \frac{R_L \cdot V_S}{R_S + R_L} \cdot e^{\frac{-t}{(R_S+R_L) \cdot C_S}}$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{0,632 \cdot R \cdot V_S}{(R_S + R_L)^2 \cdot C_S}$$

$$C_S = \frac{0,632 \cdot R \cdot V_S}{(R_S + R)^2 \cdot dv/dt}$$

$$R_S = \frac{V_S}{I_T}$$

Donde:

$$V_S = 220[V], R = 1,125[\Omega], dv/dt = 1000 [V/\mu s], f = 60[Hz],$$

$$I_T = 100[A]$$

$$R_S = \frac{220}{100}$$

$$R_S = 2,2 [\Omega] \textit{ Normalizado}$$

$$C_S = \frac{0,632 \times 1,125 \times 220}{(2,2 + 1,125)^2 \times 1000}$$

$$C_S = 14,1 [mF]$$

$$C_S = 22 [mF] \textit{ Normalizado}$$



Figura 2.9 Red snubber instalada en el módulo de SCR's.

2.2. DISEÑO DE FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Para la alimentación de la tarjeta de control principal se necesita una fuente de 5VDC a 2 amperios, además de una fuente de 24VDC a 1 amperio para la activación de la electroválvula, la alimentación del sensor de presión de aire y las luces pilotos de advertencia en caso de falla.

2.2.1. DISEÑO DE UNA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 5 VDC / 2A

Esta fuente se realiza a través de un transformador de 220VAC a 12VAC, después pasa a través un puente rectificador y filtro. Luego se coloca un regulador de voltaje ajustable LM338, tal como se muestra en la Figura 2.10.

El integrado LM338 es un regulador de voltaje positivo ajustable, capaz de soportar una corriente de 5A en todo el rango de salida de voltaje. Para ajustar el voltaje de salida requiere únicamente de dos resistencias siguiendo la siguiente expresión:

$$V_O = V_{(ref)} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{adj} \cdot R_2$$

Donde:

$$V_{ref} = 1,25V \text{ y } I_{adj} = 20\mu A$$

$$V_O = 1,25x \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + 20x10^{-6} \cdot R_2$$

Se tiene:

$$R_1 = 180 [\Omega]; R_2 = 560 [\Omega]$$

Los diodos se utilizan para proteger al integrado debido a que los capacitores se pueden descargar en el regulador provocando su daño.

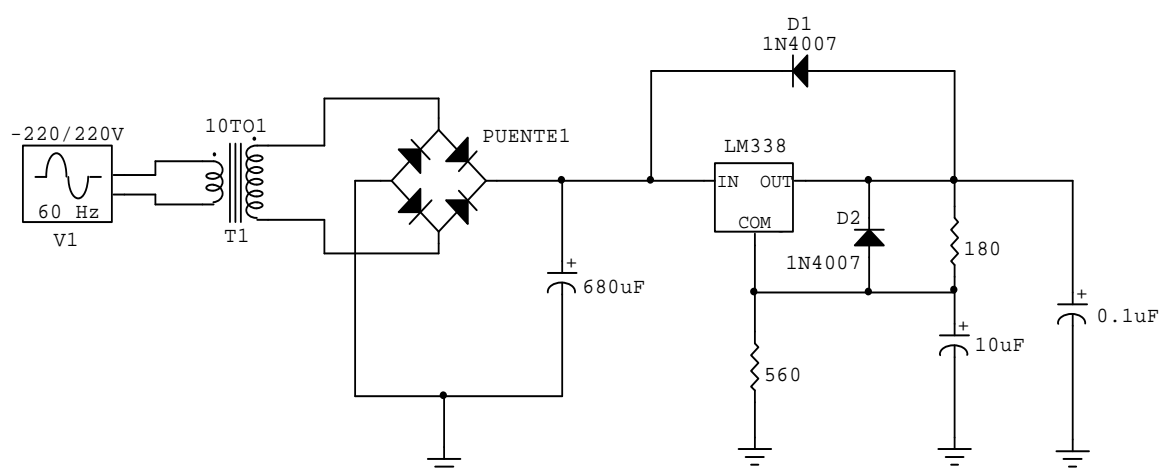


Figura 2.10 Circuito de la fuente de alimentación de 5 VDC / 2A



Figura 2.11 Fuente de alimentación de 5 VDC / 2A instalada en la soldadora.

2.2.2. FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 24 VDC / 1A

Se necesita una fuente de 24 VDC para el accionamiento de la electroválvula, la misma que comanda un cilindro neumático para realizar el cierre ó apertura de los brazos de soldadura, para alimentar el sensor de presión de aire y para alimentar las luces pilotos de advertencia de fallos.

Por motivos de estandarización se utiliza una fuente comercial tipo industrial de 24VDC / 1A que también se utiliza en otras soldadoras de resistencia por puntos marca OBARA, tal como se muestra en la figura siguiente.



Figura 2.12 Fuente de alimentación de 24VDC / 1A instalada en la soldadora

2.2.3. PROTECCIONES PARA LAS FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Se protege con fusibles de fusión normal las 2 fuentes de alimentación; se colocan dos fusibles de cristal de 2 amperios a 250V en la salida de la fuente de 5VDC y dos fusibles de 1 amperio a 250V en la salida de la fuente de 24VDC.



Figura 2.13 Fusibles de protección para el circuito de control

Se utiliza varistores para crear una protección contra transitorios de alto voltaje provenientes del lado de la red hacia la carga.

Los varistores son dispositivos conformados de partículas de óxido metálico, separadas por un aislamiento o una película de óxido, además son dispositivos no lineales debido a que modifican su resistencia interna en función del voltaje aplicado en sus terminales ya sea positivo o negativo, por lo que es conveniente si se trata de voltaje alterno. Si se aplica un voltaje superior al de operación normal, el varistor disminuye su resistencia creando un camino de baja impedancia para que el breaker realice su operación de protección.

En la Figura 2.10 se muestra la colocación del varistor en la entrada de la red hacia el circuito de control.

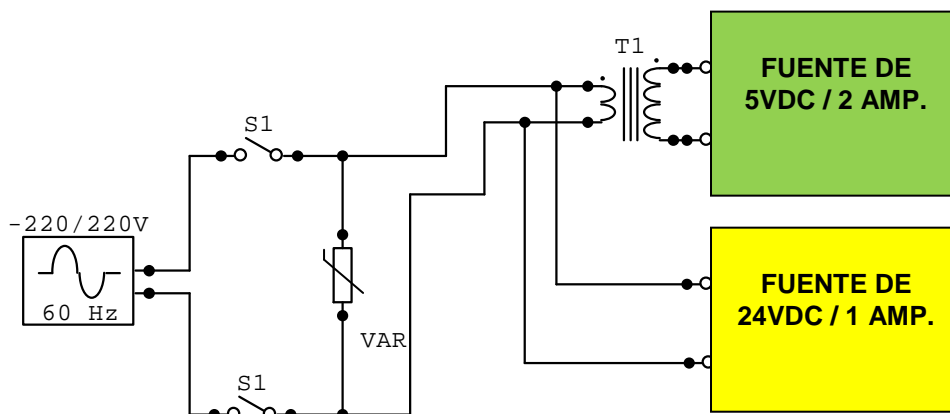


Figura 2.14 Circuito de potencia con protecciones

A continuación se muestra las características del varistor que se coloca para proteger el sistema de control de la soldadora.

Código	V_M (AC) Voltios	V_M (DC) Voltios	V_{CL} Voltios	V_{NOM} Voltios	I_{TM} Amperios	P_D mW
ECG1V300	280RMS	370	740	470	1200 Peak	250

En la siguiente figura se muestra el varistor instalado en la soldadora de resistencias por puntos.

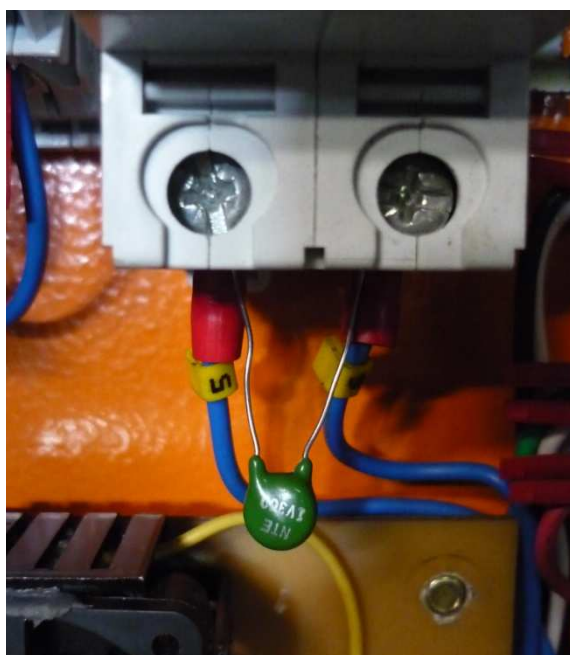


Figura 2.15 Varistor instalado en la soldadora.

2.3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE DE LA TARJETA PRINCIPAL

La tarjeta principal contiene 2 microcontroladores PIC 16F877A. Además de los microcontroladores la tarjeta necesita señales de entrada y según el estado de las mismas, con ayuda de los microcontroladores, se obtienen las salidas necesarias para el funcionamiento de la soldadora de resistencia por puntos, las cuales se detalla en el siguiente diagrama de bloques, indicado en la Figura 2.16.

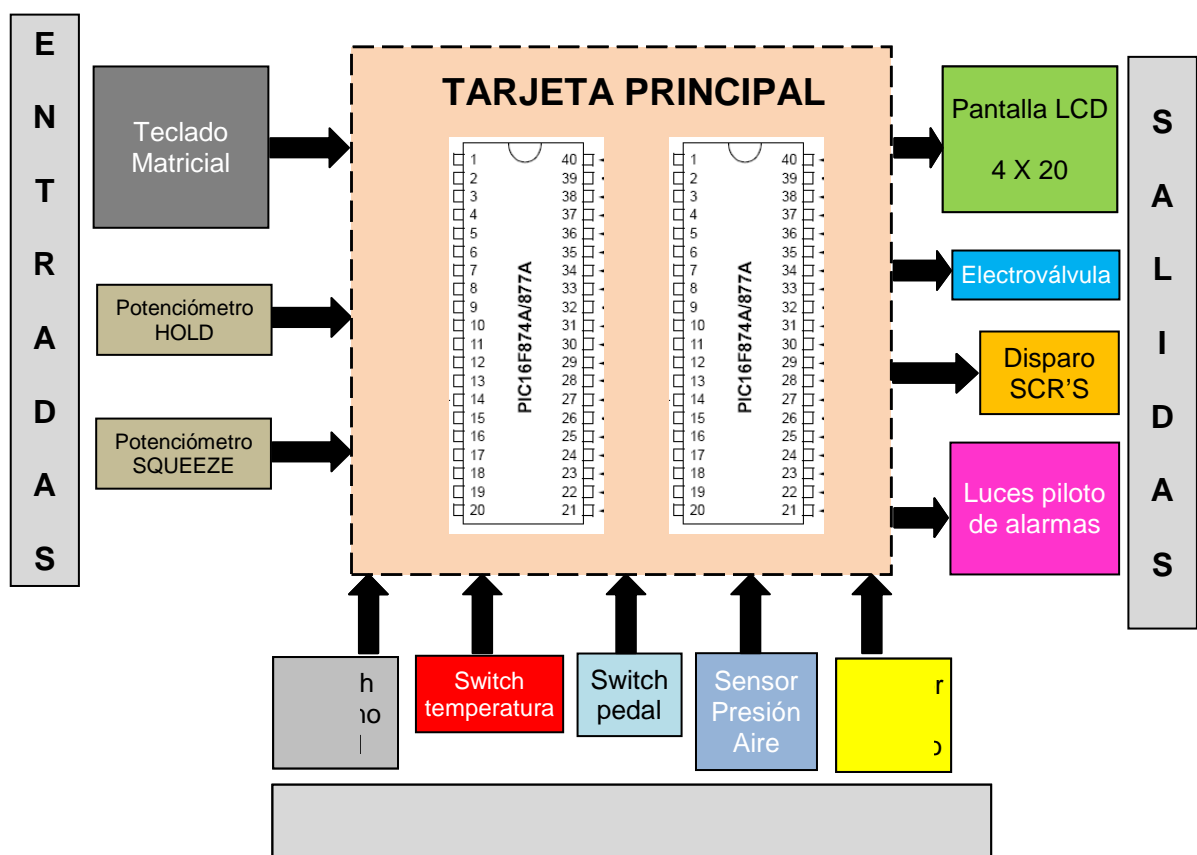


Figura 2.16 Diagrama de bloques de la Tarjeta Principal.

2.3.1. MICROCONTROLADORES PIC 16F877A

La tarjeta principal contiene 2 microcontroladores PIC 16F877A para realizar el proceso de soldadura de resistencia por puntos, a un microcontrolador se le denomina INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA y al otro CONTROLADOR PRINCIPAL.

Las señales utilizadas para el microcontrolador de INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA y las funciones que cada una realiza, se explican en la Tabla 2.2.

Pin	Nombre	Función
1	MCLR	Master on reset
2	OSC1	Pin para conectar el oscilador de 4 MHz
3	OSC2	Pin para conectar el oscilador de 4 MHz
4	RC0	Salida de la señal para el zumbador
5	RC6	Salida para distinguir en la transmisión el dato de tiempo
6	RC7	Salida para distinguir en la transmisión el dato de porcentaje corriente
7	RD0	Salida pin #5 del teclado matricial
8	RD1	Salida pin #6 del teclado matricial
9	RD2	Salida pin #7 del teclado matricial
10	RD3	Salida pin #8 del teclado matricial
11	RD4	Salida pin #1 del teclado matricial
12	RD5	Salida pin #2 del teclado matricial
13	RD6	Salida pin #3 del teclado matricial
14	RD7	Salida pin #4 del teclado matricial
15	RB0	Salida para transmisión de datos TX.
16	RB2	Salida para habilitación de la pantalla LCD
17	RB3	Salida para selección del registro control/datos de la pantalla LCD
18	RB4	Salida del dato para la pantalla LCD. (Bit menos significativo)
19	RB5	Salida del dato para la pantalla LCD.
20	RB6	Salida del dato para la pantalla LCD.
21	RB7	Salida del dato para la pantalla LCD. (Bit más significativo)

Tabla 2.2 Funciones del microcontrolador de INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA

Este microcontrolador se encarga de realizar una interfaz con el operador de la máquina para ingresar los datos de porcentaje de corriente y tiempo de soldadura con la ayuda del teclado matricial y visualizando todos los mensajes a través de la

pantalla LCD. Una vez que los datos han sido ingresados tiene que enviarlos al otro microcontrolador vía comunicación serial.

Las señales utilizadas para el microcontrolador denominado CONTROLADOR PRINCIPAL y las funciones que cada una realiza, se explican en la Tabla 2.3.

Pin	Nombre	Función
1	MCLR	Master on reset
2	RA0	Entrada analógica de potenciómetro SQUEEZE
3	RA1	Entrada analógica de potenciómetro HOLD
4	OSC1	Pin para conectar el oscilador de 4 MHz
5	OSC2	Pin para conectar el oscilador de 4 MHz
6	RC0	Salida para activar luz piloto de Weld / No weld
7	RC1	Salida para la activación de la electroválvula
8	RC2	Salida para activar luz piloto de Sobretemperatura
9	RC4	Salida para activar luz piloto de Falta de aire
10	RC6	Entrada para distinguir en la transmisión el dato de tiempo
11	RC7	Entrada para distinguir en la transmisión el dato de porcentaje corriente
12	RD0	Salida para el disparo de los SCR's
13	RD1	Entrada del detector de cruce por cero
14	RD3	Entrada del switch Weld / No weld
15	RD4	Entrada del switch de temperatura
16	RD5	Entrada del sensor de presión de aire
17	RD6	Entrada para la recepción de datos RX.
18	RB0	Entrada del switch de pedal

Tabla 2.3 Funciones del microcontrolador CONTROLADOR PRINCIPAL

Este microcontrolador se encarga de manejar el ángulo de disparo de los SCR's y el tiempo de activación de la electroválvula en función de los tiempos de squeeze y hold ingresados a través del potenciómetro y los datos de porcentaje de corriente y tiempo de soldadura que recibe vía comunicación serial, también se encarga de bloquear el comienzo del ciclo de soldadura si la alarma por falta de aire o sobretensión se encuentra activada.

Este microcontrolador también maneja la opción weld / no weld que consiste en cumplir un ciclo de soldadura completo pero sin paso de corriente, esta opción sirve para el centramiento de caps.

Los dos microcontroladores necesitan para su funcionamiento un voltaje de 5VDC conectado en el pin #11 y la tierra en el pin #12.

2.3.2. TECLADO MATRICIAL Y PANTALLA LCD

Los módulos LCD (Liquid Cristal Display) son muy utilizados para mostrar mensajes que indican al operador el estado de la máquina o muestran instrucciones de manejo, valores, mensajes, alertas, alarmas, etc. El LCD permite la comunicación entre el hombre y la máquina, siendo más útil porque se puede visualizar caracteres ASCII y no consumen mucha energía, en comparación con los displays de 7 segmentos.

Conjuntamente con los módulos LCD se utiliza el teclado matricial, que sirve para introducir datos útiles para el funcionamiento de los programas.

El teclado matricial es un arreglo de pulsadores interconectados que consta de n filas y m columnas. Lo que hace el microcontrolador es realizar un barrido de las teclas para saber cual fue presionada.

En la siguiente tabla se muestra la descripción de los pines de un LCD estándar.

Pin	Simb.	Descripción
1	Vss	Tierra de alimentación GND
2	Vdd	Alimentación de +5V
3	Vo	Ajuste del contraste del cristal líquido (0 a +5V)
4	RS	Selección del registro de control/datos RS=0 reg. control RS=1 reg. Datos
5	R/W	Lectura/Escritura en LCD R/W=0 escritura R/W=1 lectura
6	E	Habilitación
7	D0	Bit menos significativo (bus de datos bidireccional)
8	D1	Dato
9	D2	Dato
10	D3	Dato
11	D4	Dato
12	D5	Dato
13	D6	Dato
14	D7	Bit más significativo (bus de datos bidireccional)
15	A	Alimentación del backlight +3,5V ó +5V (según hoja de dato)
16	K	Tierra GND del backlight

Tabla 2.4 Configuración de pines de un LCD estándar.

Para el presente proyecto se utiliza un LCD de 4 líneas por 20 caracteres para visualizar los parámetros de soldadura y realizar el interfaz con el operador para realizar el cambio de parámetros.

En la siguiente figura se muestra la conexión del módulo LCD con el microcontrolador PIC 16F877A que se utiliza en el proyecto para visualizar los parámetros ingresados en la soldadora.

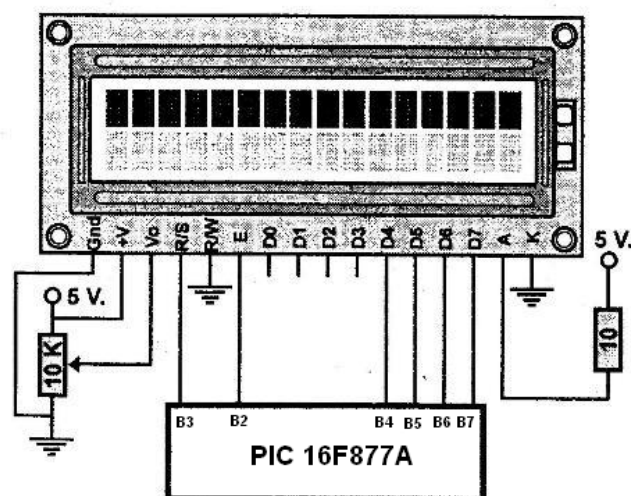


Figura 2.17 Circuito de conexión entre el microcontrolador PIC 16F877A con la pantalla LCD.

A continuación se muestra el diagrama de conexión del teclado matricial con el microcontrolador PIC 16F877A.

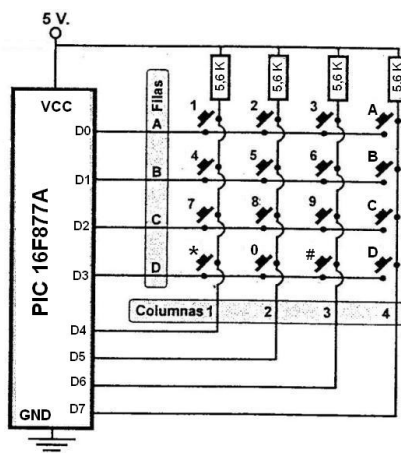


Figura 2.18 Circuito de conexión entre el microcontrolador PIC 16F877A con el teclado matricial.



Figura 2.19 Vista frontal de la pantalla LCD y el teclado matricial en la soldadora.

2.3.3. POTENCIÓMETRO HOLD Y SQUEEZE

En la secuencia de soldadura de resistencia por puntos se tiene 4 etapas: SQUEEZE, WELD, HOLD y OFF. Para controlar los tiempos de SQUEEZE y HOLD se va a utilizar los conversores A/D manejados por el microcontrolador colocando 2 resistencias variables (potenciómetros) conectados a los canales A/D para ingresar esta señal al microcontrolador y transformarlos en retardos de tiempo que pueden ser regulados de 0 a 1 segundo.

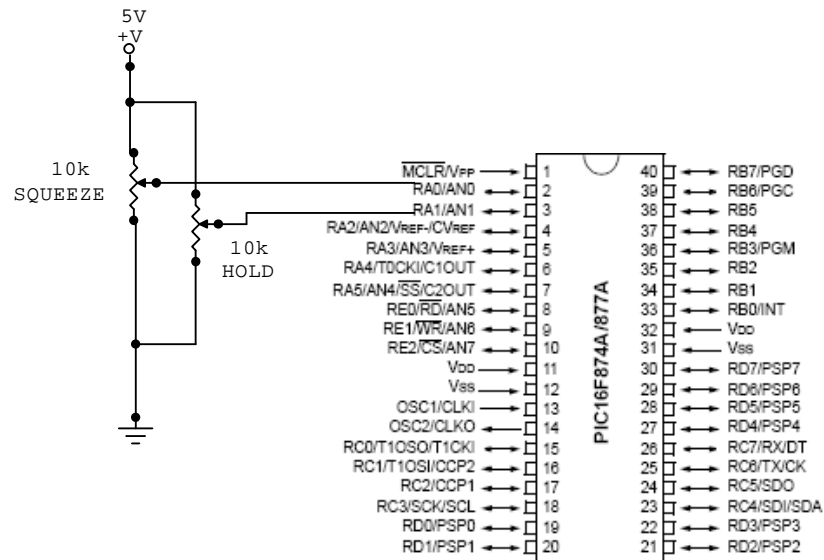


Figura 2.20 Circuito para variar el tiempo de Squeeze y Hold a través de potenciómetros.

2.3.4. SWITCH DE WELD / NO WELD Y PEDAL

Se tiene instalado en la soldadura de resistencia por puntos un switch para escoger la opción de weld / no weld que se utiliza en el centrado de los caps y se tiene el switch del pedal que sirve para dar inicio a la secuencia de soldadura de resistencia por puntos programada.

En la siguiente figura se muestra el cableado necesario para que los switch funcionen en conjunto con la tarjeta de control principal.

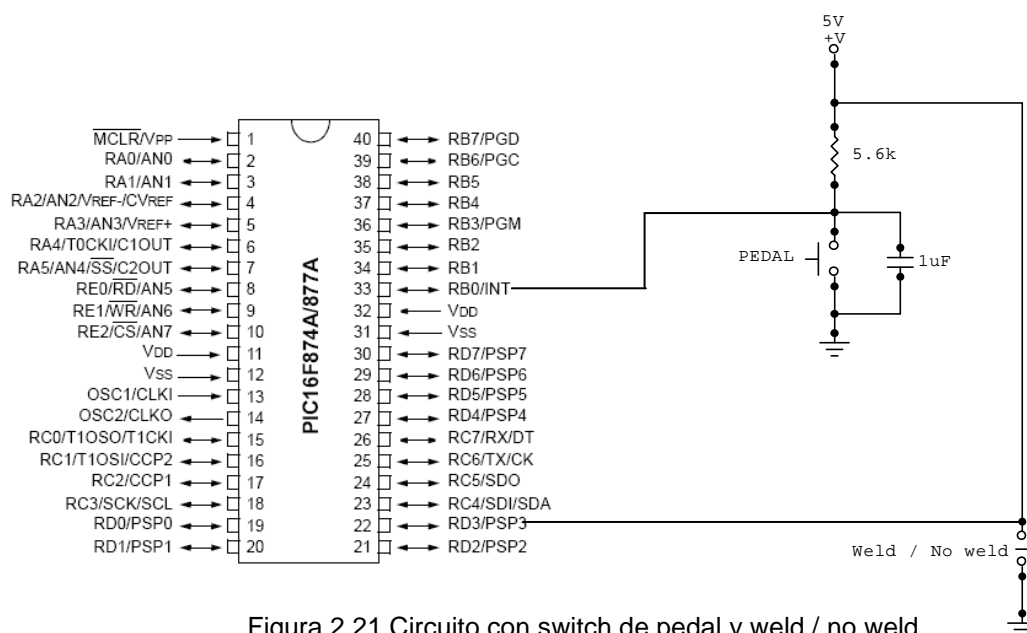


Figura 2.21 Circuito con switch de pedal y weld / no weld.



Figura 2.22 Switch de pedal y switch weld instalado en la soldadora

2.3.5. SWITCH DE TEMPERATURA

Debido a la cantidad de corriente que pasa por los componentes eléctricos, éstos deben estar protegidos para que no sufran daños parciales o totales por el calor.

El sistema de refrigeración por agua, enfría el transformador, brazos, portacaps y caps del circuito, pero se utiliza un interruptor de temperatura para proteger al transformador principal de calentamientos excesivos, ya sea por falta o falla del sistema de enfriamiento.

El interruptor funciona como un contacto normalmente cerrado y está instalado sobre la superficie del elemento que se quiere proteger. Cuando la superficie que está en contacto con el interruptor llega a más de un valor determinado de temperatura, el interruptor se comporta como un contacto abierto hasta que la temperatura de la superficie nuevamente esté bajo el valor determinado.

En la soldadora de resistencia por puntos se ha instalado el interruptor KSD301NC80, los datos técnicos son los siguientes:

- Modelo: KSD301NC80
- Abrir temperatura: 80 °C
- Tolerancia: +/- 5 °C
- Tipo: Normalmente cerrado

- Restablecimiento: Rearmado automático
- Max. voltaje: 250V.
- Max. Corriente: 10 A.
- Ciclo de vida: 100.000.

En las siguientes gráficas se muestra el interruptor de temperatura con el cual funciona la soldadora de resistencia por puntos, su forma de conexión con el microcontrolador y el switch instalado en el transformador.



Figura 2.23 Switch de temperatura KSD301NC80

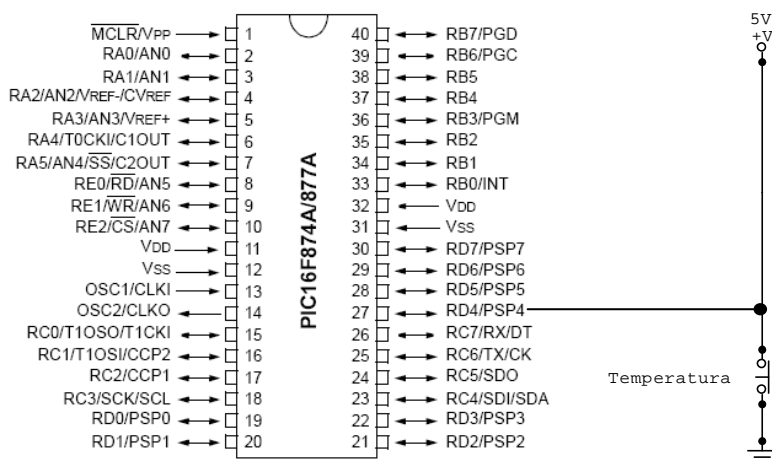


Figura 2.24 Circuito de conexión del switch de temperatura



Figura 2.25 Switch de temperatura instalado en la soldadora.

2.3.6. SENSOR DE PRESIÓN DE AIRE

Los procesos de soldadura de resistencia por puntos tienen 3 factores que influyen en la calidad del punto, estos son: el tiempo, la corriente y la resistencia. El tiempo y la corriente están controlados en el proceso, pero la resistencia se la puede controlar de manera indirecta a través de la presión de aire, ya que existe una estrecha relación entre la resistencia y la fuerza que ejercen las puntas y la fuerza está en función de la presión de aire que ingrese al cilindro.

Por tal motivo, es importante mantener controlada la presión de aire en la soldadora para mantenerla dentro de un rango, garantizando la calidad de los puntos de soldadura.

Por estandarización se escoge el sensor de presión marca SMC modelo ISE40 para aire, tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 2.26 Sensor de presión de aire Marca SMC Modelo: ISE40

2.3.6.1. CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE PRESIÓN DE AIRE

En la siguiente tabla se presenta las características del sensor digital de presión de aire que está instalado en la soldadora de resistencia por puntos.

ESPECIFICACIÓN	RANGO DE FUNCIONAMIENTO
Marca	SMC
Modelo	ISE40-W1-22L
Rango de Presión	0 a 1000 MPa
Resolución de la presión escogida	0.001 MPa 0.01 kgf/cm ² 0.01 bar 0.1 psi
Fluido	Aire, gases no corrosivos, gases incombustibles.
Fuente de voltaje	12 a 24VDC +/- 10%
Consumo de corriente	≤ 55Ma
Switch de salida	2 Salidas NPN a colector abierto Max corriente carga 80mA Max. voltaje aplicado 30VDC
Repetitividad	≤ +/- 0.2% F.S.
Tiempo de respuesta	≤2.5 Ms
Indicadores	Led verde = OUT1 Salida ON Led rojo = OUT2 Salida ON
Rango T. ambiente	Operación: 0 a 50 °C
Rango de humedad	Operación: 35 a 85 % H.R.

Tabla 2.5 Características del sensor de presión de aire

2.3.6.2. PARTES DEL SENSOR DE PRESIÓN DE AIRE

El sensor está compuesto de un solo cuerpo tal como se muestra en la figura siguiente:

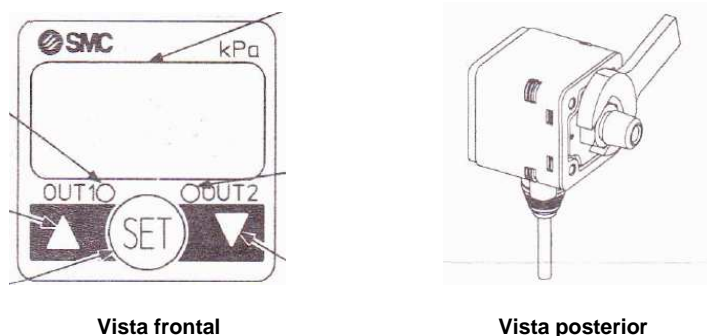


Figura 2.27 Partes del sensor de presión de aire ISE40

La pantalla tiene 2 led indicadores: OUT1 de color verde y OUT2 de color rojo que se iluminan cuando están en ON.

La pantalla también contiene un display en el cual se despliega información sobre la presión, modo de funcionamiento establecido, unidad en la que se está midiendo la presión y errores.

2.3.6.3. CABLEADO INTERNO DEL SENSOR DE PRESIÓN DE AIRE

El sensor tiene salida a transistor, dependiendo del modelo será salida PNP ó NPN, para este caso se escoge el modelo con salida a transistor NPN.

El sensor funciona dentro de un lazo de histéresis, en donde se debe ingresar los límites de presión superior e inferior, cuando la presión de aire está fuera de los límites se activa la salida del sensor, por lo que la carga conectada a la salida tendrá un voltaje de +24VDC. Se tiene conectado a la salida del sensor la bobina de un relé, cuando la presión está dentro del lazo la salida del sensor está apagada y la bobina del relé también, pero cuando la presión está fuera del lazo la salida del sensor y la bobina del relé se encienden.

A continuación se muestra el diagrama de conexiones del sensor que tiene 2 salida a transistor NPN.

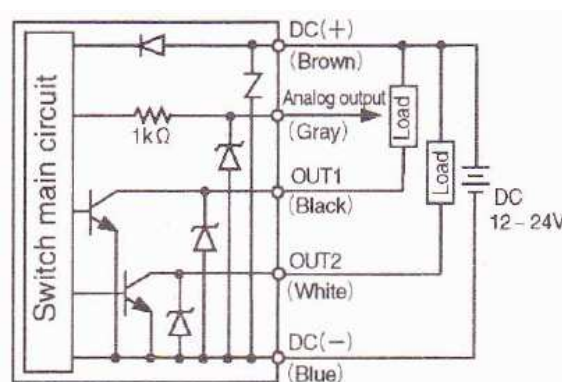


Figura 2.28 Diagrama de conexiones del sensor de presión de aire ISE40

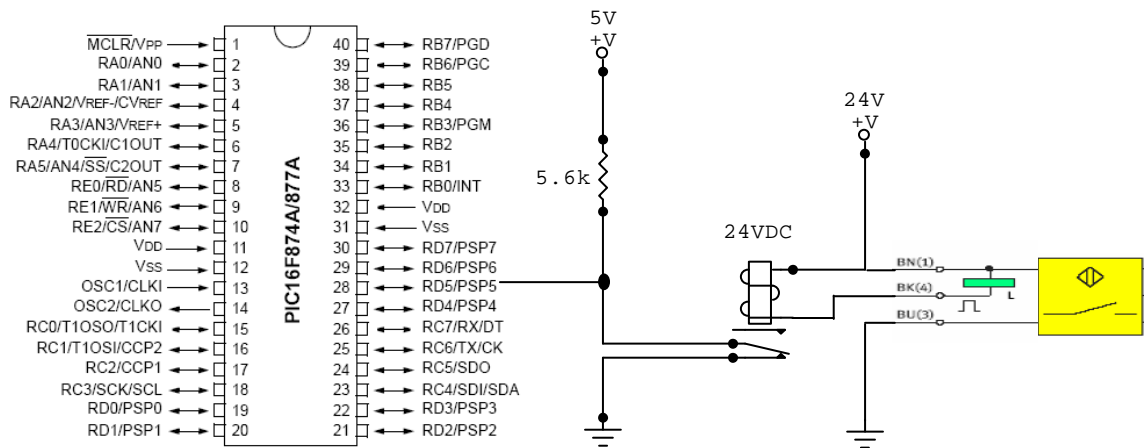


Figura 2.29 Circuito para el sensor de presión de aire ISE40

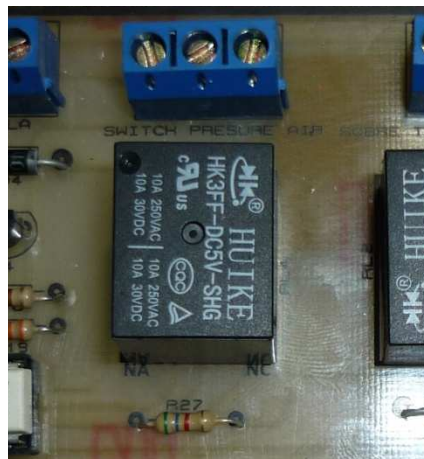


Figura 2.30 Salida para conexión del sensor de presión de aire ISE40

2.3.7. CIRCUITO DE ACTIVACIÓN DE LA ELECTROVÁLVULA

Para realizar la soldadura de resistencia por puntos, es necesario mover los brazos de soldadura para que exista unión entre las puntas o caps de la soldadora y las láminas de metal a soldar, este movimiento se obtiene a través de un cilindro neumático de doble efecto.

El cilindro está comandado por una electroválvula de 5 vías-2 posiciones, que contiene una solenoide a 24 VDC controlada a través del microcontrolador principal.

El microcontrolador excita a la solenoide de la electroválvula provocando un cambio de posición que hace posible que el aire pase a la otra cámara del cilindro y por lo tanto, los brazos de soldadura se cierran. Una vez que se quita la excitación de la solenoide, la electroválvula vuelve a su posición original mediante un resorte, provocando que la otra cámara del cilindro se llene de aire y por lo tanto los brazos de soldadura se abran.

En el diseño de activación de la electroválvula se utiliza transistores como switch, debido a que el tiempo de respuesta es rápido en comparación a un relé común.

Para la activación de la electroválvula se utiliza un optoaislador con salida a transistor 4N35 para acoplar la señal del microcontrolador y la señal para activar el transistor 2N3904.

Diseño para el funcionamiento del optoaislador 4N35:

$$V_{DC} = 5V$$

$$I_F = 60mA$$

$$R_{in} \geq \frac{V_{DC}}{I_F} = \frac{5}{60mA} \geq 83,33\Omega$$

$$R_{in} = 330\Omega$$

$$V_{CEO} = 24V$$

$$I_C = 150mA$$

$$R_E \geq \frac{V_{CEO}}{I_C} = \frac{24}{150mA} \geq 160\Omega$$

$$R_E = 330\Omega$$

A continuación se muestra el circuito de activación de la electroválvula.

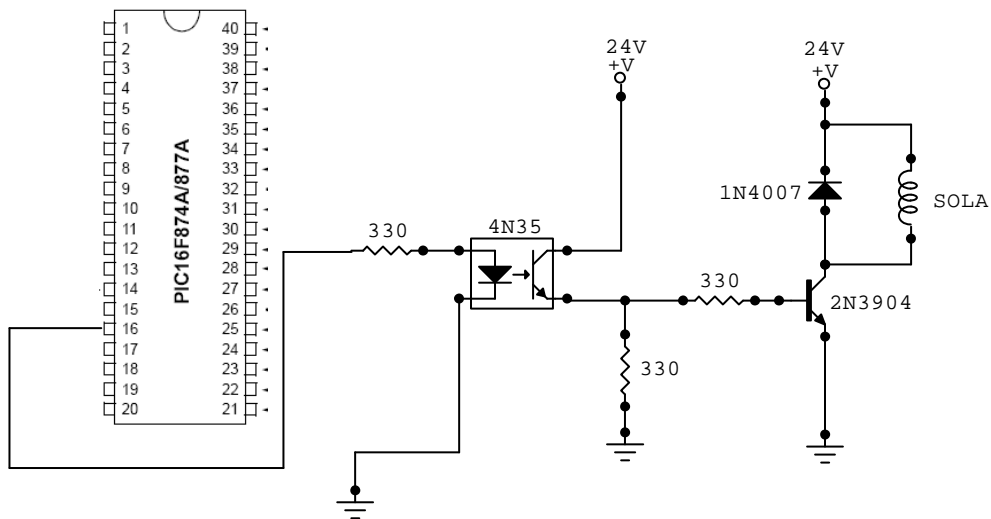


Figura 2.31 Circuito para la activación de la electroválvula.



Figura 2.32 Electroválvula de 5 vías – 2 posiciones.

2.3.8. CIRCUITO DETECTOR DE CRUCE POR CERO

Para el funcionamiento de la soldadora de punto se necesita un detector de cruce por cero, para saber cuando la onda sinusoidal de la red pasa por el punto cero y así poder sincronizar los disparos de los tiristores.

El detector de cruce por cero utiliza un optoaislador con salida a transistor 4N35 para acoplar la señal del puente rectificador y la señal que se envía a una entrada del microcontrolador.

Diseño para el funcionamiento del optoaislador 4N35:

$$V_{DC} = 14V$$

$$I_F = 60mA$$

$$R_{in} \geq \frac{V_{DC}}{I_F} = \frac{14}{60mA} \geq 233,33\Omega$$

$$R_{in} = 3,9K\Omega$$

$$V_{CEO} = 24V$$

$$I_C = 150mA$$

$$R_C \geq \frac{V_{CEO}}{I_C} = \frac{5}{150mA} \geq 33,33\Omega \text{ y } R_C \geq \frac{V_{SS}}{I} = \frac{5}{25mA} \geq 200\Omega$$

$$R_C = 560\Omega$$

En la siguiente figura se muestra el circuito que se utiliza para la detección de cruce por cero en base al integrado 4N35.

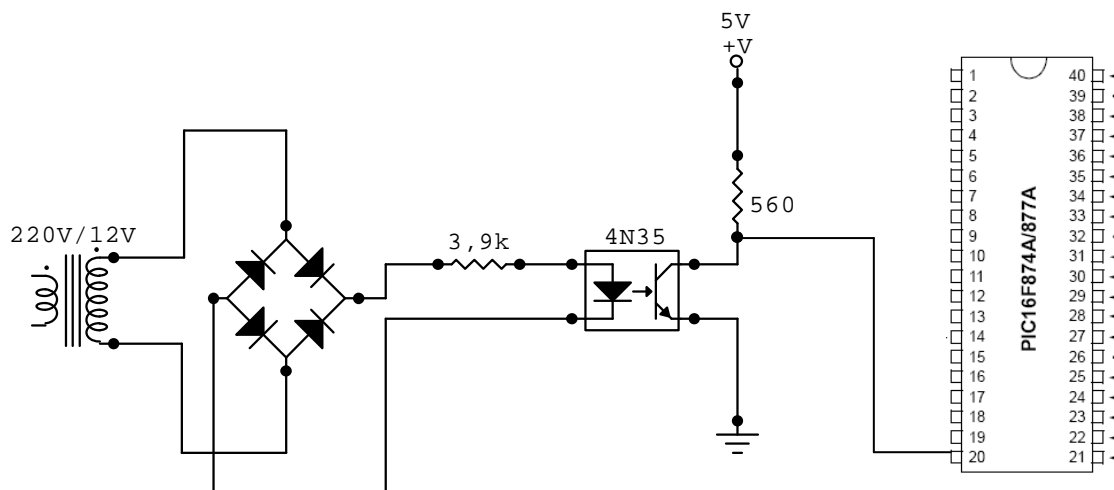


Figura 2.33 Circuito detector de cruce por cero.

Este circuito es alimentado por un transformador de 12VAC, luego pasa por un rectificador tipo puente del cual se obtiene una forma de onda con semiciclos positivos; esta onda pasa a un optoaislador con transistor de salida que envía la señal a un microcontrolador, cada vez que existe un voltaje que polarice el diodo de entrada. En la siguiente figura se muestra el circuito detector de cruce por cero dentro de la placa principal de control.



Figura 2.34 Circuito detector de cruce por cero en la tarjeta principal

El circuito detector de cruce por cero sirve para dos cosas en el circuito de control:

- Para sincronizar los disparos de los SCR con la red de alimentación.
- Para contabilizar el número de ciclos que necesita el proceso de soldadura.

2.3.9. CIRCUITO DE DISPARO PARA LOS SCR'S

Además del circuito de cruce por cero es necesario realizar el disparo para la activación de los SCR's, con lo cual se realiza la soldadura de resistencia por puntos.

Para este circuito se utiliza el integrado MOC3020 el cual permite, con la circuitería necesaria, realizar el disparo de los SCR's que se encuentran en antiparalelo.

Diseño para el funcionamiento del módulo SKKT 72:

$$V_{GT} = 3V$$

$$I_{GT} = 150mA$$

$$V_R = 3V$$

$$R \geq \frac{V_{IN} - V_R - V_{GT}}{I_{GT}} = \frac{\sqrt{2} \times 220 - 3 - 3}{150mA} \geq 2034,17\Omega$$

$$R = 5,6K\Omega$$

Diseño para el funcionamiento del optoacoplador para manejo de triacs MOC3020:

$$V_F = 1,5V$$

$$V_{SS} = 5V$$

$$I_F = 60mA$$

$$R \geq \frac{V_{SS} - V_F}{I_F} = \frac{5 - 1,5}{60mA} \geq 58,33\Omega$$

$$R = 330\Omega$$

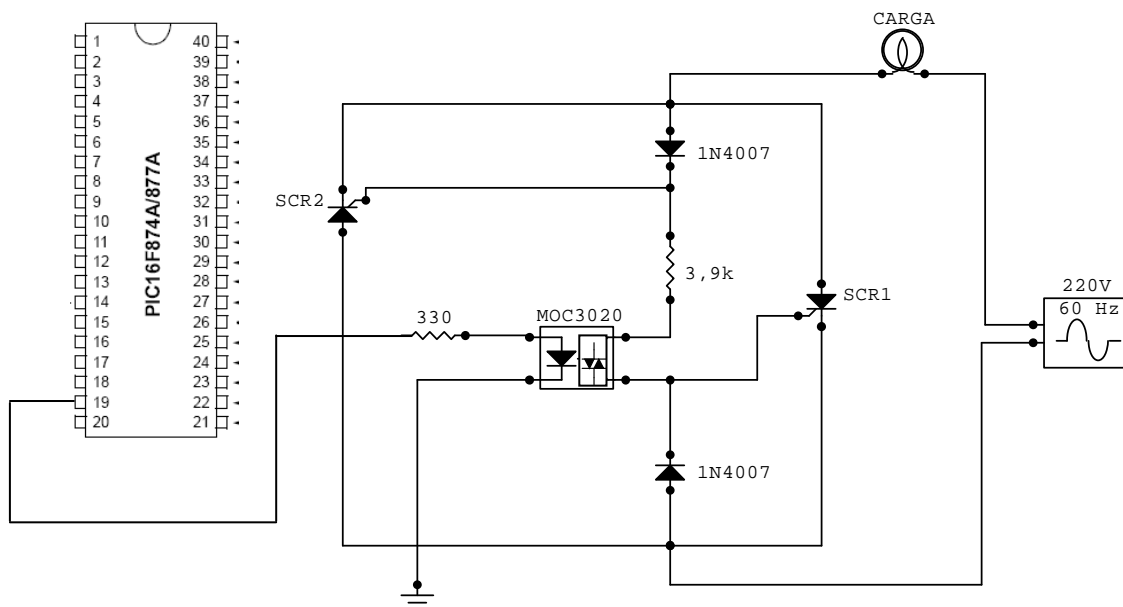


Figura 2.35 Circuito para el disparo de los SCR's.

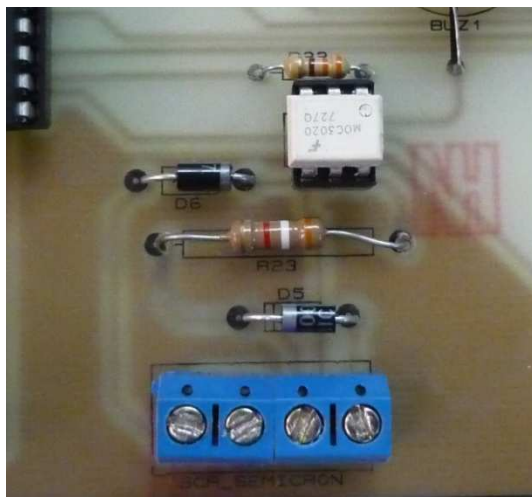


Figura 2.36 Circuito de disparo en la tarjeta principal

2.3.10. LUCES INDICADORAS DE FALLO O ESTADO

La soldadora de resistencia por puntos tiene 3 luces piloto color rojo que se energizan con 24VDC, dos de ellas indican fallo en la soldadora y la otra indica el estado weld o no weld para el proceso de soldadura.

En la Figura 2.37 se muestra el circuito que activa la luz indicadora de sobretemperatura, falta de aire y weld/ no weld.

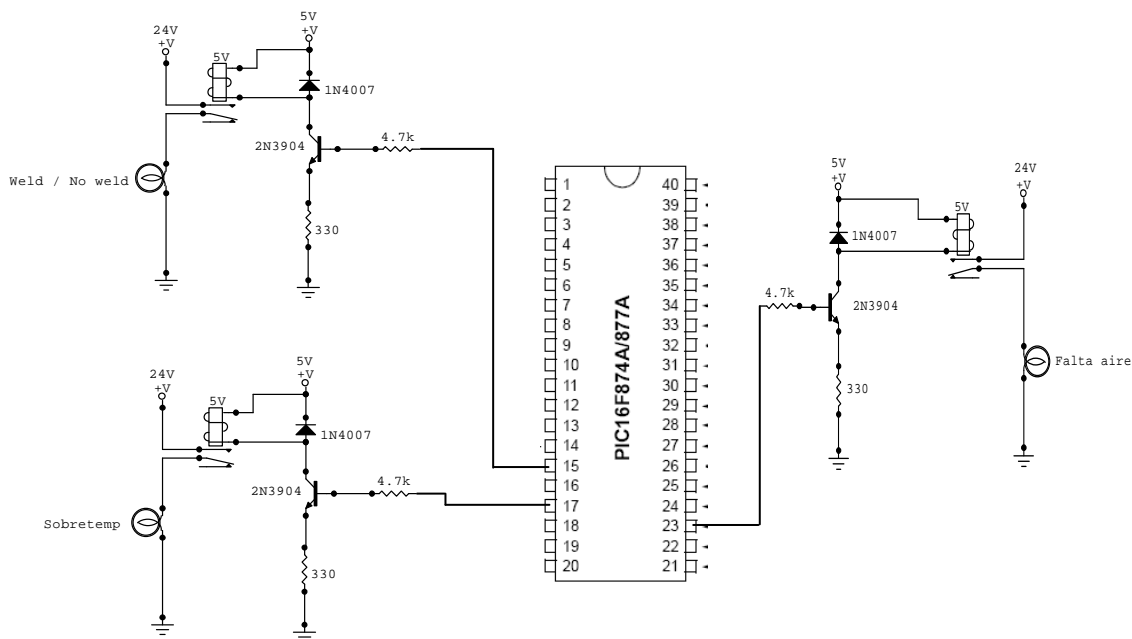


Figura 2.37 Circuito para la activación de las luces indicadoras.

Si el controlador detecta que existe alguna falla, envía a que la luz piloto por sobretemperatura o falta de aire se encienda; una vez que la falla ha sido despejada la luz piloto se apaga. Si la luz piloto de weld/no weld está encendida significa que está en modo weld.



Figura 2.38 Luces indicadoras en la soldadora de resistencia por puntos.

Se ha descrito uno a uno los diferentes componentes de la tarjeta principal de la soldadora de resistencia por puntos, en la Figura 2.39 y 2.40 se muestra una vista frontal y posterior de la tarjeta final implementada.

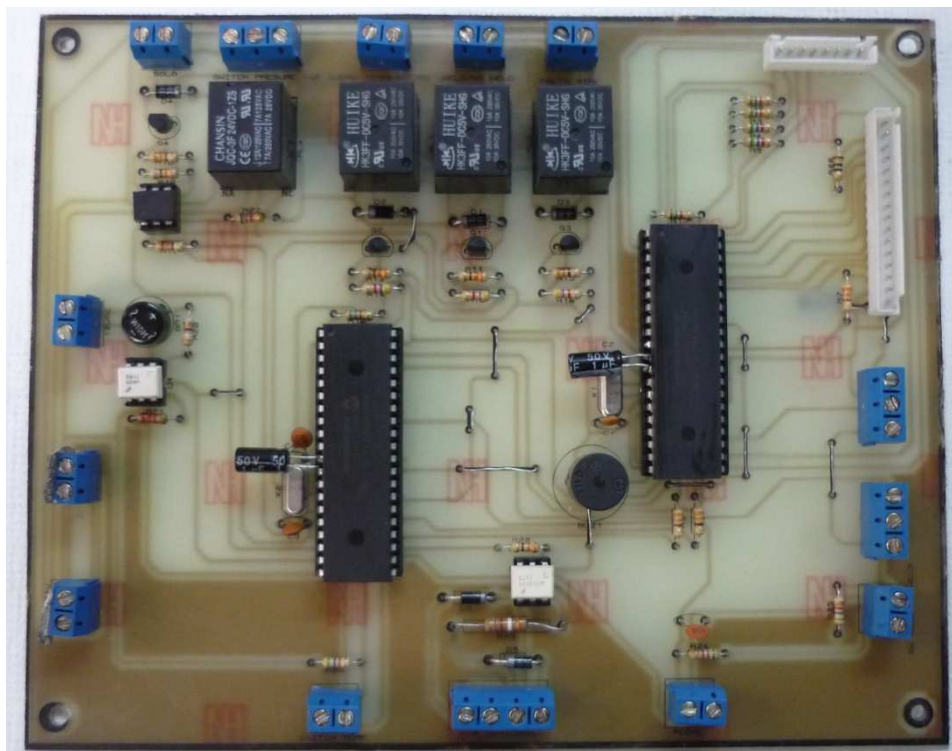


Figura 2.39 Tarjeta final implementada vista frontal.

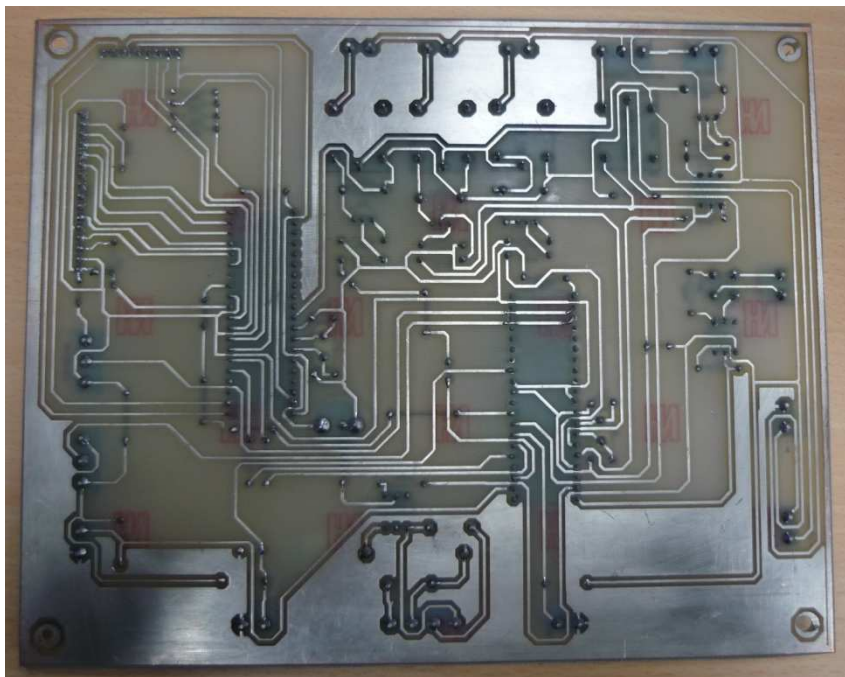


Figura 2.40 Tarjeta final implementada vista posterior.

En la Figura 2.41 se muestra el diagrama esquemático de conexiones de la tarjeta principal.

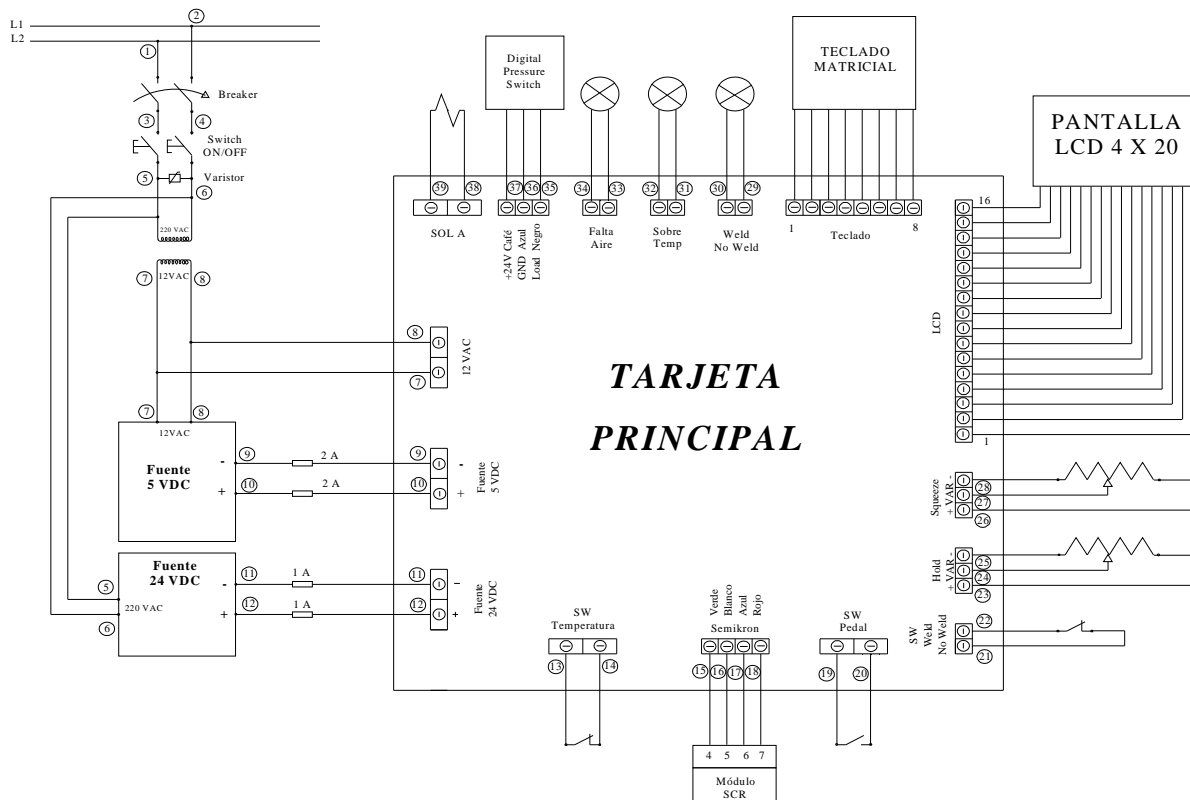


Figura 2.41 Esquema de conexiones de la tarjeta principal.

En la Figura 2.42 se muestra el circuito implementado en la tarjeta principal de la soldadora de resistencia por puntos.

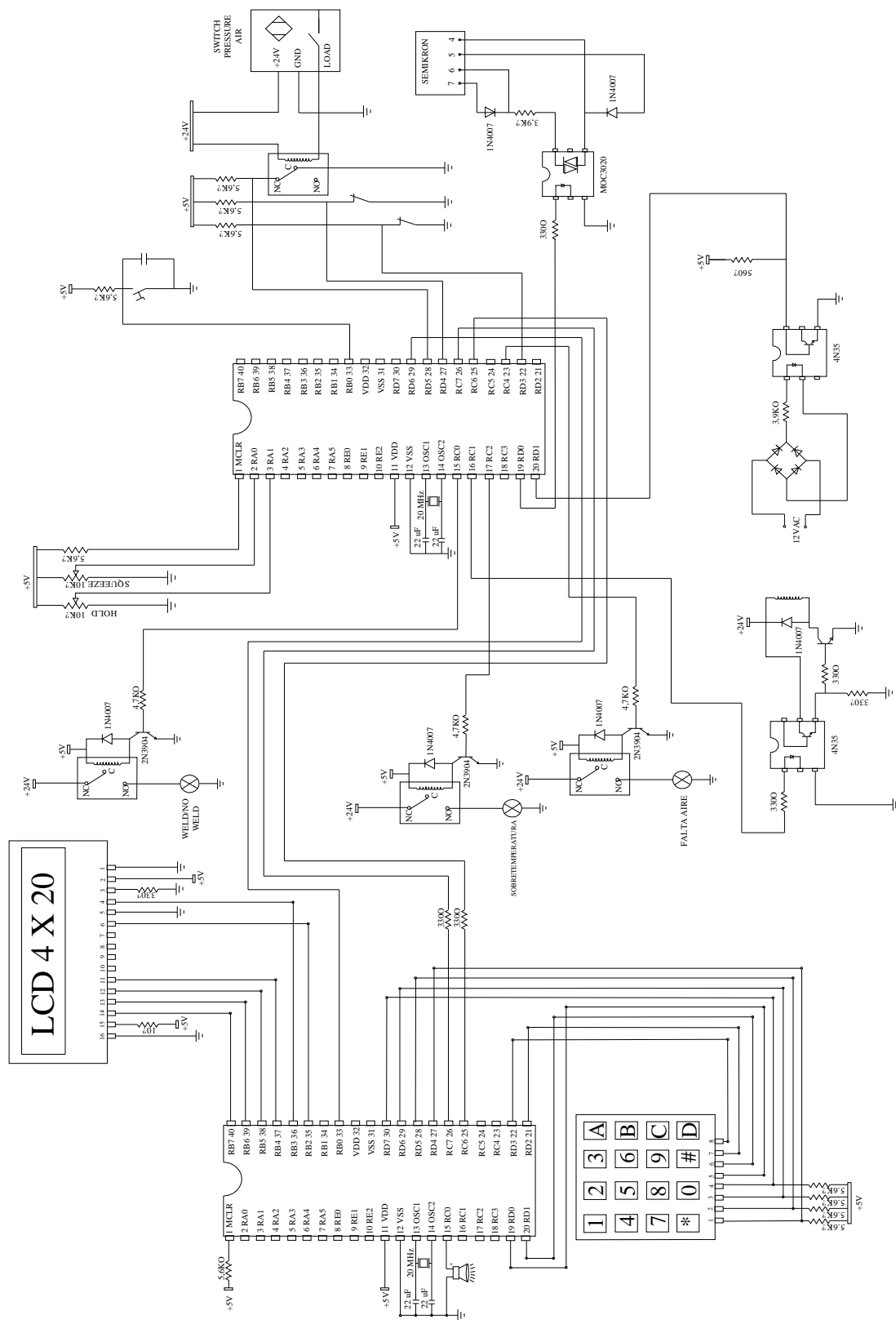


Figura 2.42 Circuito implementado en la tarjeta principal

En la Figura 2.43 se muestra la tarjeta principal instalada en la caja de control de la soldadora de resistencia por puntos.

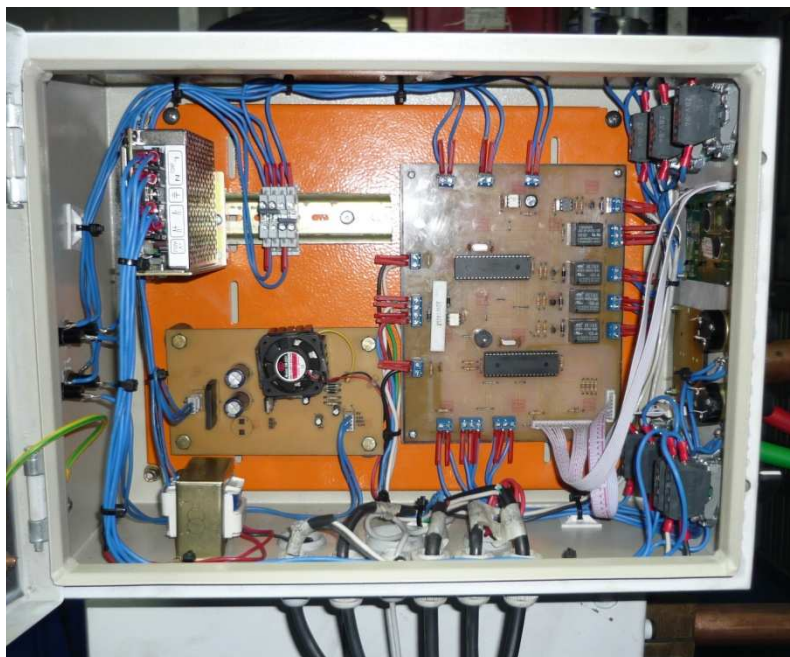


Figura 2.43 Tarjeta principal instalada en la soldadora de resistencia por puntos

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control de una soldadora de resistencia por puntos necesita para su funcionamiento, fuentes de alimentación, señales de entrada, señales de salida y la programación de microcontroladores para que el proceso de soldadura pueda realizarse con la cantidad de aire necesaria, el porcentaje de corriente adecuado y por un tiempo específico, que garantice una soldadura efectiva en las piezas a soldar.

3.1. SISTEMA DE CONTROL MICROPROCESADO¹⁰

Para realizar el control de la secuencia de soldadura se necesita coordinar la activación de la electroválvula, generar retardos de tiempo para disparar y temporizar el tiempo que permanecen encendido los SCR's, monitorear los sensores y visualizar mediante una pantalla LCD y luces indicadoras el estado de la soldadora.

El microcontrolador escogido, el cual se puede programar para realizar el algoritmo de control, es el microcontrolador de marca MICROCHIP, familia PIC 16F877A. Los microcontroladores PIC de la familia 16F87XA tienen las características que se muestran en la Tabla 3.1.

CPU RISC DE ALTO RENDIMIENTO

- Set de 35 instrucciones simples
- Todas las instrucciones se las realiza en un solo ciclo, las de salto utilizan dos ciclos de máquina.
- Velocidad de operación hasta 20 MHz (ciclo de máquina = 20ns).
- Memoria de programa flash hasta 8K x 14 palabras.
- Memoria de datos (RAM) hasta 368 x 8 bytes.
- Memoria de datos EEPROM hasta 256 x 8 bytes.
- Salidas compatibles con otros modelos de 28, 40 ó 44 pines de la familia PIC 16CXXX y PIC 16FXXX

¹⁰ Microchip Technology Inc. "Data Sheet PIC 16F87XA. Publicación DS39582B. Revisado: 2010.

<p>CARACTERÍSTICA DE LOS PERIFÉRICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Timer/contador de 8 bits (Timer0) con 8 bits de prescaler. • Timer/contador de 16 bits (Timer1) con prescaler que puede ser incrementados durante el modo Sleep vía externa (reloj/cristal) • Timer/contador de 8 bits (Timer2) con prescaler y postscaler. • Dos módulos de captura PWM de 16 bits y resolución de 12,5 y 200ns. • Puerto serial de comunicación con SPI (Modo master) e I²C (Maestro/Esclavo). • Transmisión Recepción Universal Sincrónica y Asincrónica (USART).
<p>CARACTERÍSTICAS ANALÓGICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Convertidor analógico-digital (A/D), 10 bits, 8 canales. • Módulo comparador analógico con: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Dos comparadores analógicos. ➤ Módulo de voltaje de referencia programable.
<p>CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DEL MICROCONTROLADOR</p> <ul style="list-style-type: none"> • 100.000 de ciclos de lectura/escritura para una memoria flash típica. • 1'000.00 de ciclos de lectura/escritura para una memoria de datos EEPROM típica. • Retención de datos EEPROM por más de 40 años. • Fuente simple de 5VDC. • Protección de código fuente programable. • Oscilador seleccionable.

Tabla 3.1 Principales características de los microcontroladores PIC 16F87XA

3.1.1. MANEJO DE INTERRUPCIÓN POR EL PUERTO B.0

Existen aplicaciones donde un evento es más importante que otros y debe ser atendido inmediatamente. El programa de control para la soldadora de resistencia por puntos recepta una señal externa para provocar una interrupción en el puerto B.0. Esta señal externa está dada por un interruptor de pedal que al accionarla provoca una interrupción en el controlador, como se observa en la Figura 3.1.

Cuando una interrupción es activada, el controlador deja de realizar las instrucciones del programa normal y pasa a ejecutar una subrutina. Después de realizar las instrucciones que contenía la subrutina regresa a su programa normal.

Dentro de la subrutina de interrupción se realiza la activación de la electroválvula, el conteo de los ciclos y se genera los retardos de tiempo para la activación de los SCR's.

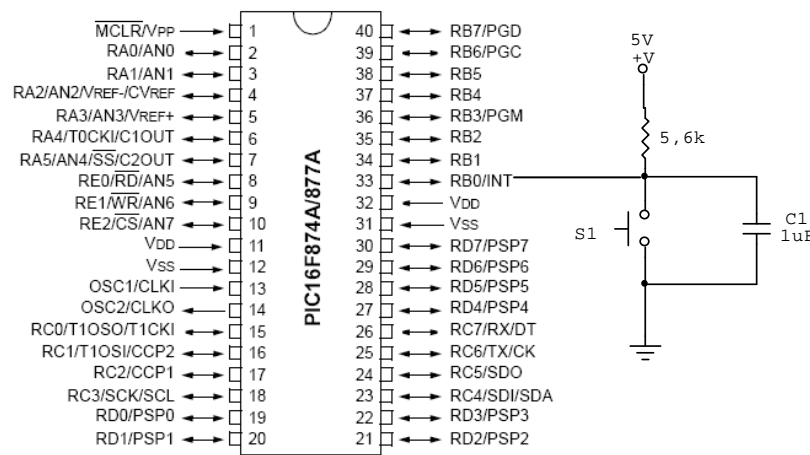


Figura 3.1 Microcontrolador PIC 16F877A con circuito de interrupción.

3.1.2. MANEJO DE MEMORIA EEPROM DEL MICROCONTROLADOR PIC16F877A

Una de las características del microcontrolador PIC 16F877A es que posee 256 bytes de memoria EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory) o memoria de lectura de programación y borrado eléctrico.

Los microcontroladores PIC 16F877A poseen tres tipos de memoria: Memoria RAM, Memoria Flash y Memoria EEPROM. La memoria flash se utiliza como memoria de programa y las memorias RAM y EEPROM como memoria de datos. La principal diferencia es que la memoria EEPROM no es volátil como la memoria RAM, lo que quiere decir es que si al PIC se le corta la alimentación de energía eléctrica, los datos almacenados en la memoria EEPROM, permanecerán inalterables, según el fabricante, por un período de 40 años.

En este proyecto se utiliza la memoria EEPROM para grabar dos datos, el porcentaje de corriente y el número de ciclos de soldadura. Estos datos son importantes para el proceso de soldadura, por lo tanto, deben ser retenidos aún cuando se desconecte la alimentación de energía eléctrica.

3.1.3. COMUNICACIÓN SERIAL ENTRE MICROCONTROLADORES PIC16F877A

Para este proyecto se utiliza dos microcontroladores PIC16F877A. Un microcontrolador para manejar el teclado y visualizar los datos en la pantalla LCD; en otras palabras, sirve para interactuar con el operador (HMI); el otro microcontrolador sirve para realizar el ciclo de soldadura, actuando sobre la electroválvula y el módulo de SCR's, además de monitorear el estado de las señales de control.

Un microcontrolador recibe los datos y el otro microcontrolador los utiliza para realizar el ciclo de soldadura, por lo que debe existir una comunicación entre estos dos elementos.

Existen dos formas de realizar la comunicación binaria: paralela y serial. La comunicación paralela tiene la ventaja de transferir los datos rápidamente, pero el inconveniente es que necesita un cable por cada bit que quiera transmitir, lo que encarece y dificulta el diseño de placas, además de generar capacitancia entre los conductores volviendo defectuosa la transmisión a partir de pocos metros.

La comunicación serial es lenta, comparado con la paralela, debido a que se transmite bit a bit, la ventaja es que se necesita menor cantidad de hilos y la comunicación se la puede realizar a mayor distancia, por ejemplo la norma RS232 puede transmitir datos a 15 metros.

Hay dos formas de realizar la comunicación serial: sincrónica y asincrónica, la diferencia entre estas dos formas es que la sincrónica además de las líneas para transmitir los datos necesita otra línea que contenga pulsos de reloj. La

comunicación serial asincrónica no necesita pulsos de reloj, en su lugar utiliza mecanismo como referencia tierra o voltajes diferenciales, en donde la duración de cada bit es determinado por la velocidad de transmisión de datos, que se define en los microcontroladores para realizar la comunicación.

Los modos de transmisión de datos se dividen en 4 tipos:

- La transmisión es **Simplex** cuando ocurre en un solo sentido, transmisión o recepción, por ejemplo las estaciones de radiodifusión, ellos transmiten y nosotros lo captamos en nuestras radios receptoras.
- La transmisión es **Half – dúplex** cuando puede ocurrir en ambos sentidos pero no al mismo tiempo, el uno es receptor y el otro es transmisor pero no ambos al mismo tiempo, por ejemplo los llamados walking-talking, donde un operador presiona un botón y habla, luego suelta el botón y el otro usuario presiona el botón para contestar.
- La transmisión es **Full – dúplex** cuando puede ocurrir en ambos sentidos y al mismo tiempo, una ubicación puede recibir y transmitir simultáneamente, siempre y cuando la estación a la que está transmitiendo también sea la estación de la cual está recibiendo, por ejemplo la telefonía móvil.
- Con el modo de transmisión **Full/full – dúplex** es posible transmitir y recibir simultáneamente, pero no necesariamente entre las dos ubicaciones, es decir una estación puede transmitir a una segunda estación y recibir de una tercera estación al mismo tiempo. Esta transmisión se utiliza casi exclusivamente con circuitos de comunicación de datos.

En este proyecto se realiza una comunicación serial, asincrónica con método full-duplex, utilizando para ello el módulo universal direccionable de transmisión-recepción-sincrónico-asincrónico (USART). El microcontrolador PIC 16F877A

consta con un puerto de recepción (RC7) y un puerto de transmisión (RC6) para realizar la comunicación, como se observa en la Figura 3.2.

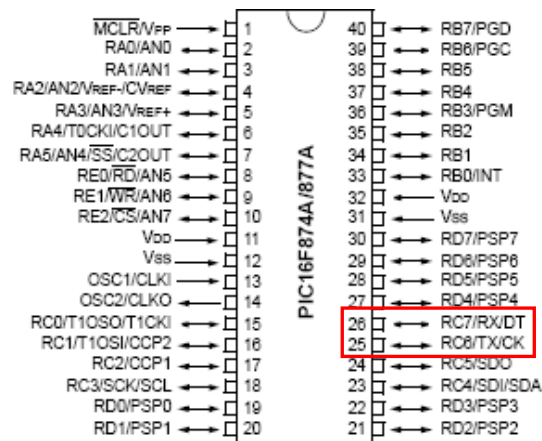


Figura 3.2 Pines para comunicación del microcontrolador PIC 16F877A.

En la comunicación asincrónica USART se utiliza el formato estándar NRZ (Non Return to Zero) un bit de comienzo, 8 ó 9 bits de datos y un bit de parada.

3.1.4. MANEJO DEL CONVERTOR A/D

Los microcontroladores PIC de la familia 16F877A de 40 pines poseen 8 canales para realizar la conversión A/D, para la soldadura de resistencia por puntos se utiliza los canales RA0 para variar el tiempo de SQUEEZE y el RA1 para variar el tiempo de HOLD.

En el canal correspondiente se coloca un potenciómetro que está sometido a un potencial de 0 a 5 voltios, variando el potenciómetro se obtiene un voltaje variable y éste a su vez se convierte en un número comprendido entre 0 y 255, el cual es almacenado en el registro ADCIN.

Con el contenido de este registro se realiza una rutina de retardo de tiempo que sirve para el proceso de soldadura.

Si se coloca el potenciómetro en su máximo valor se obtiene un registro en el cual estará almacenado el número 255, este registro es multiplicado por 4 veces, lo que da un valor de 1.020. Utilizando la subrutina PAUSE con el valor de 1.020 se obtiene una base de tiempo de 1,02 segundos, ya sea para el tiempo de squeeze o para el tiempo de hold.

3.2. ALGORITMOS DE CONTROL

El programa para el control de la soldadora está dividido en 2 microcontroladores, cada uno de ellos tiene una función específica, pero están comunicados entre sí.

El un microcontrolador se denomina INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA y el otro microcontrolador se llama CONTROLADOR PRINCIPAL, ambos microcontroladores están montados en la Tarjeta Principal de la soldadora de resistencia por puntos.

3.2.1. FUNCIONAMIENTO

El programa de control actúa de la siguiente manera:

- Cuando se enciende la soldadora de resistencia por puntos se presenta una pantalla con un saludo inicial.
- Se despliega la pantalla con los últimos valores almacenados de porcentaje de corriente y tiempo de soldadura.
- Únicamente presionando la tecla * se puede ingresar al menú para cambiar los datos de porcentaje y tiempo de soldadura.
- El porcentaje de soldadura debe estar dentro del rango de 50 al 99%.
- El tiempo de soldadura debe estar dentro del rango de 0 a 99 ciclos.
- Si se presenta alguna alarma por sobret temperatura o por falta de aire el equipo se bloquea, no suelda y se enciende la luz indicadora respectiva de falla.
- Una vez que la falla ha sido superada se apaga la luz indicadora y la soldadora puede funcionar.

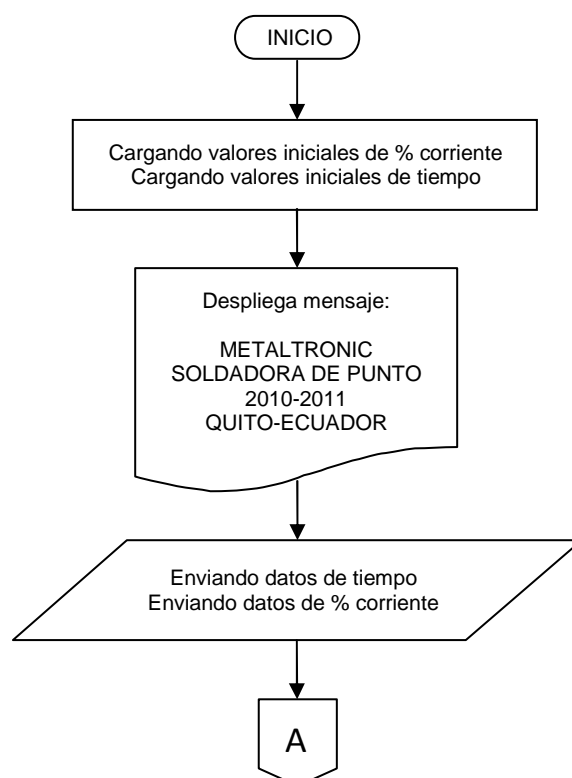
- Los tiempos de squeeze y hold serán cargados según la posición de cada potenciómetro, el tiempo máximo es de 1,02 segundos.
- El inicio de ciclo de soldadura comienza después de que se quita el pie del switch de pedal.
- Con el switch weld/ no weld se puede realizar todo un ciclo de soldadura, pero sin paso de corriente.

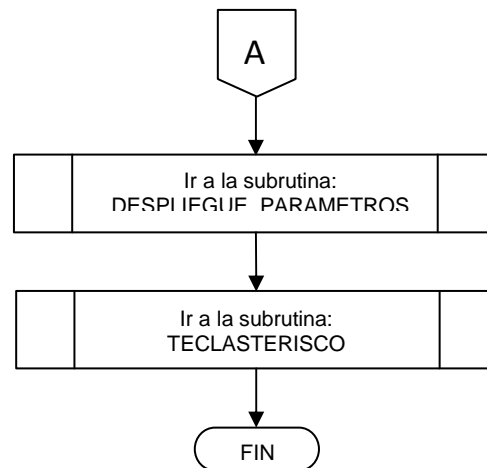
3.2.2. ALGORITMO DE CONTROL DE LA INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA

Este microcontrolador está dedicado a realizar una comunicación entre el hombre (operador) y la máquina (soldadora), para introducir los parámetros con los cuales se va a realizar el proceso de soldadura de resistencia por puntos con la ayuda del teclado matricial y la pantalla LCD.

A continuación se detalla el algoritmo de control para el microcontrolador de Interfaz Hombre-Máquina.

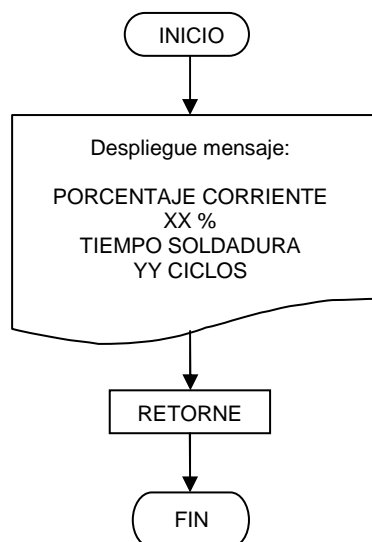
PROGRAMA PRINCIPAL:





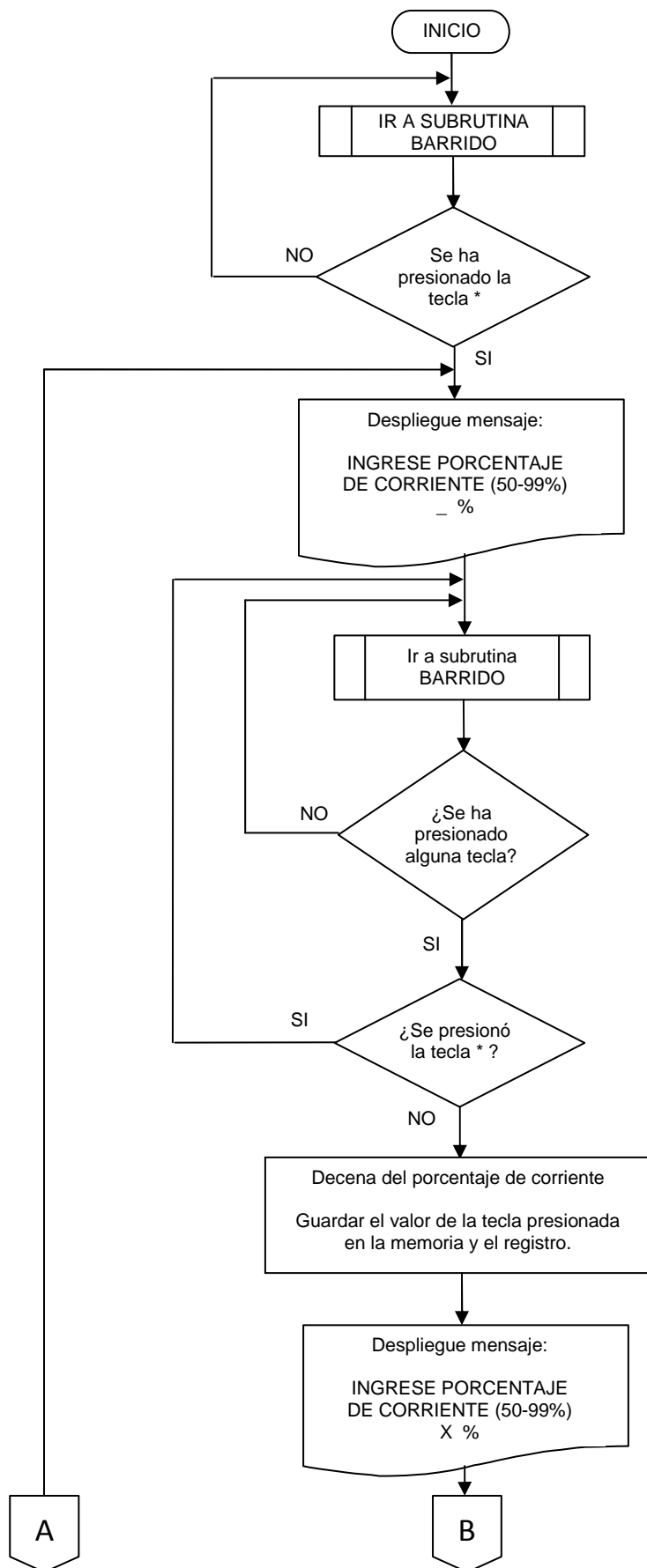
El programa de este microcontrolador está conformado por el programa principal y varias subrutinas. En el programa principal se cargan los valores que se encuentran almacenados en la memoria EEPROM del microcontrolador a los registros de porcentaje de corriente y tiempo de soldadura. Luego despliega un saludo inicial en la pantalla LCD. Después envía los datos de porcentaje de corriente y tiempo de soldadura vía comunicación serial al otro microcontrolador. Por último tiene dos subrutinas: DESPLIEGUE_PARAMETROS y TECLASTERISCO, los cuales se describe a continuación.

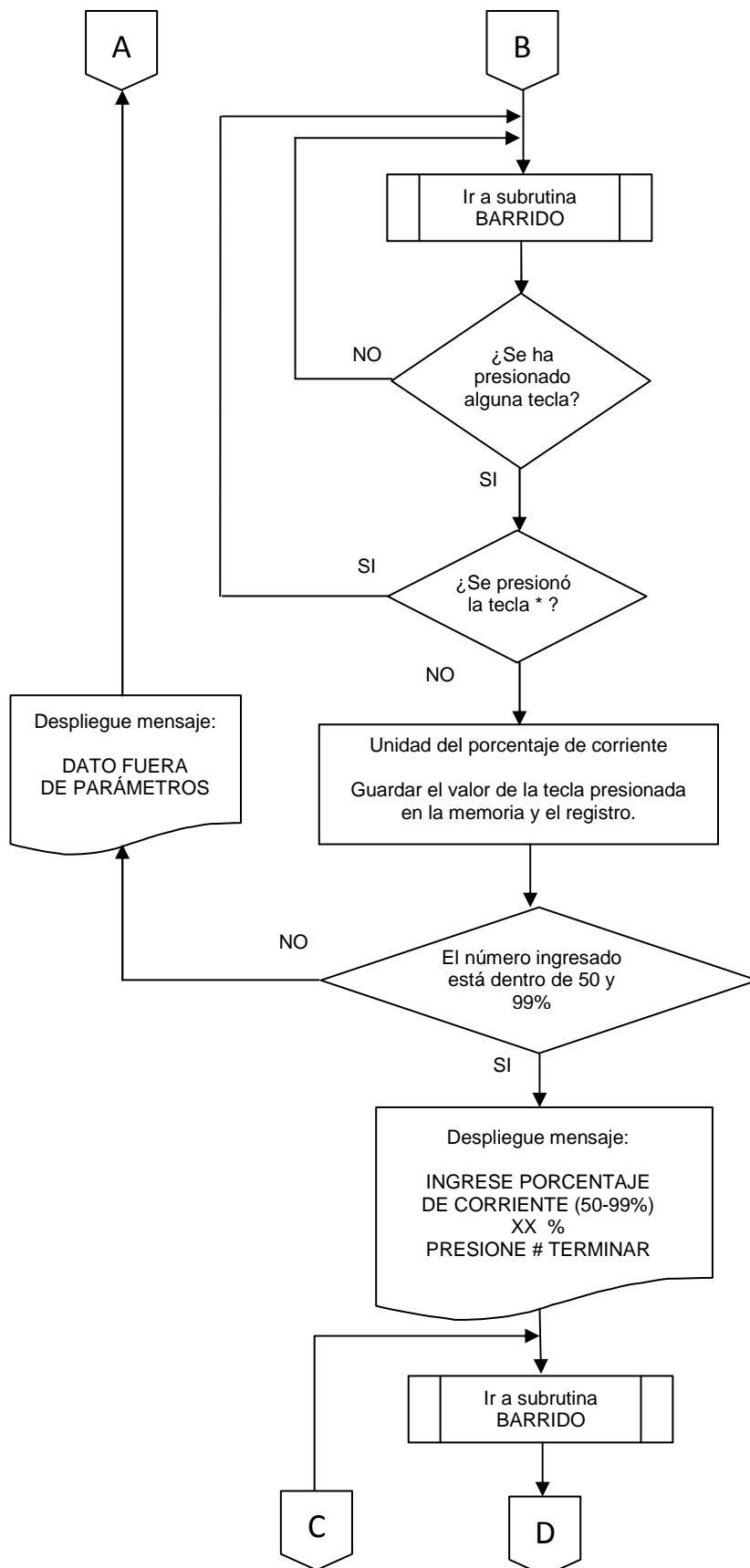
DESPLIEGUE_PARAMETROS:

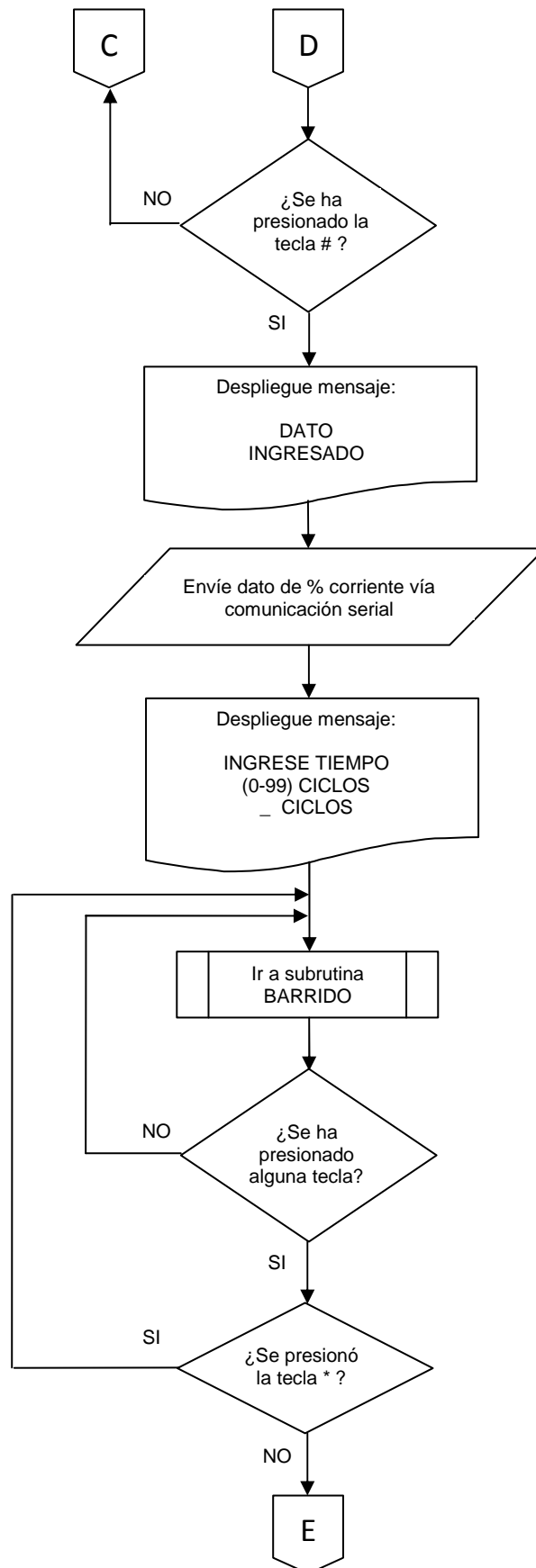


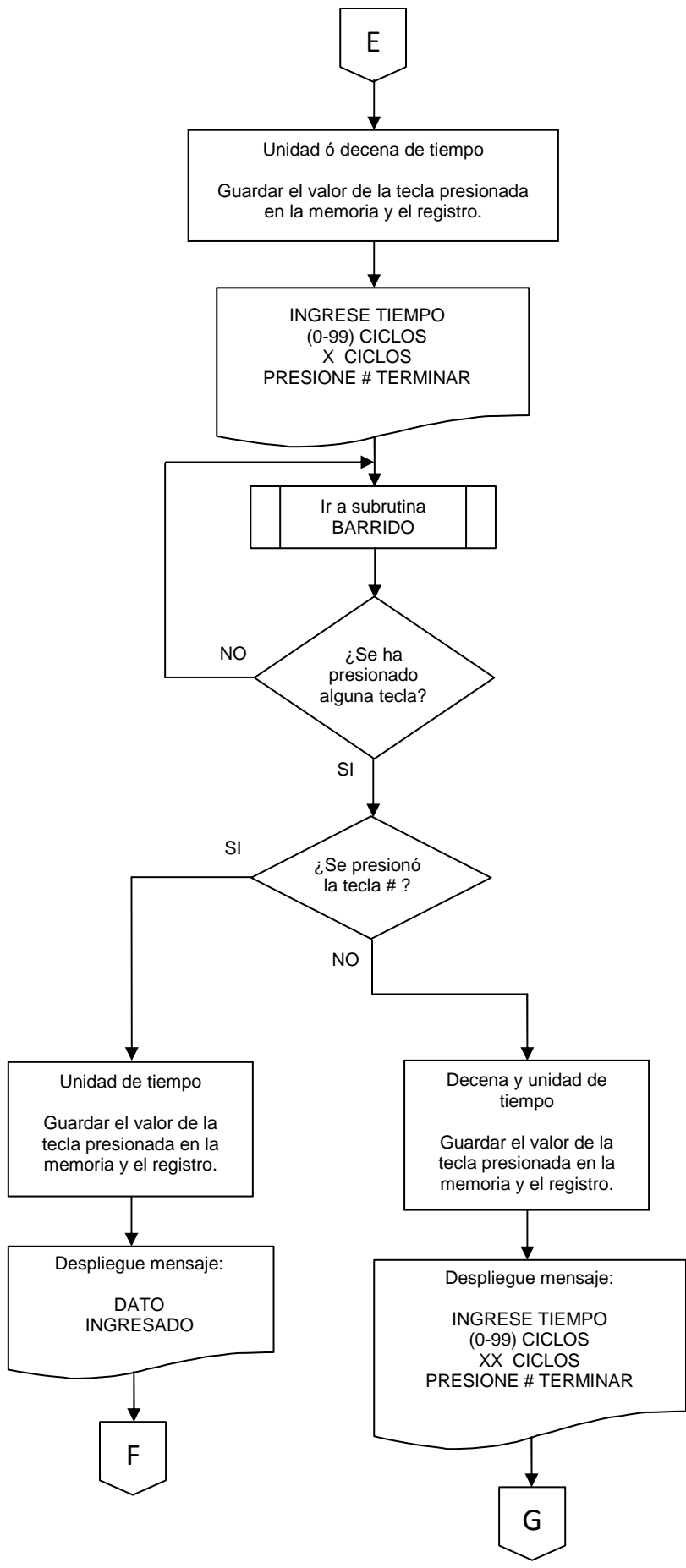
Esta subrutina se encarga de visualizar a través de la pantalla LCD los valores del porcentaje de corriente y tiempo de soldadura, luego retorna a realizar la siguiente acción del programa que lo llamó.

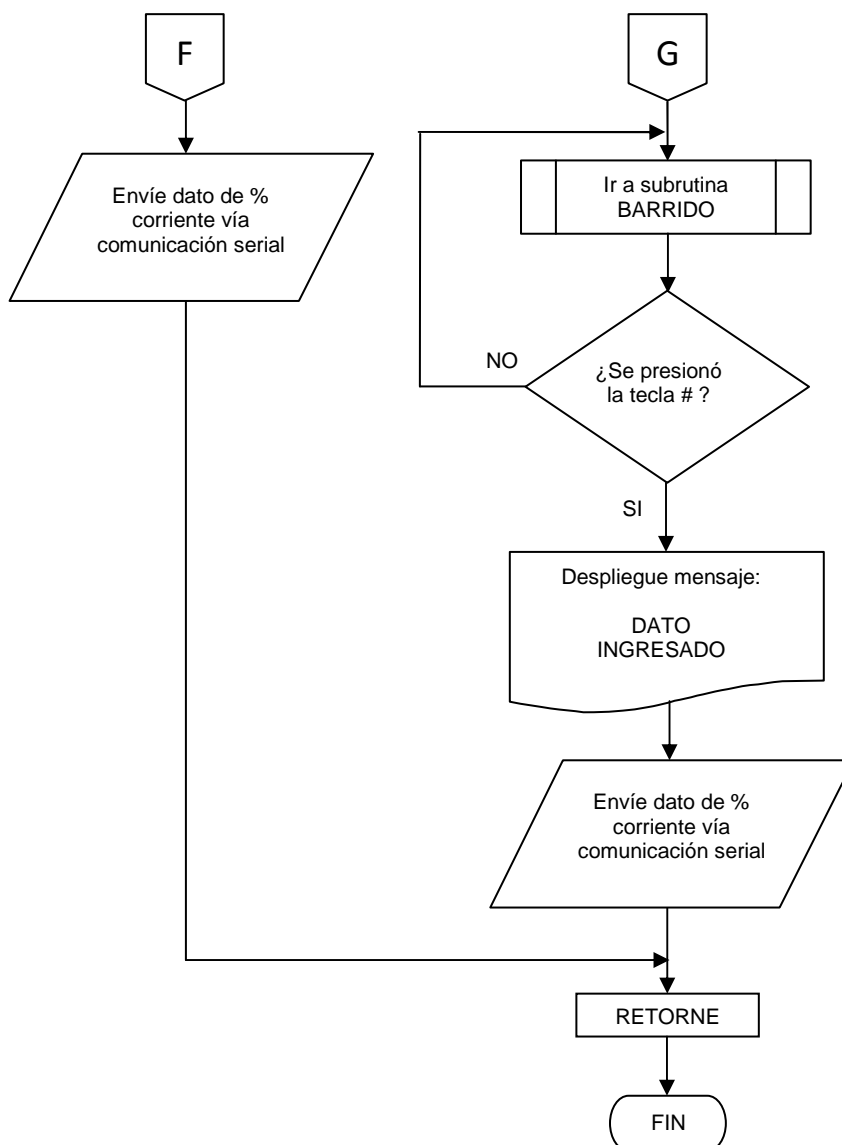
TECLASTERISCO:









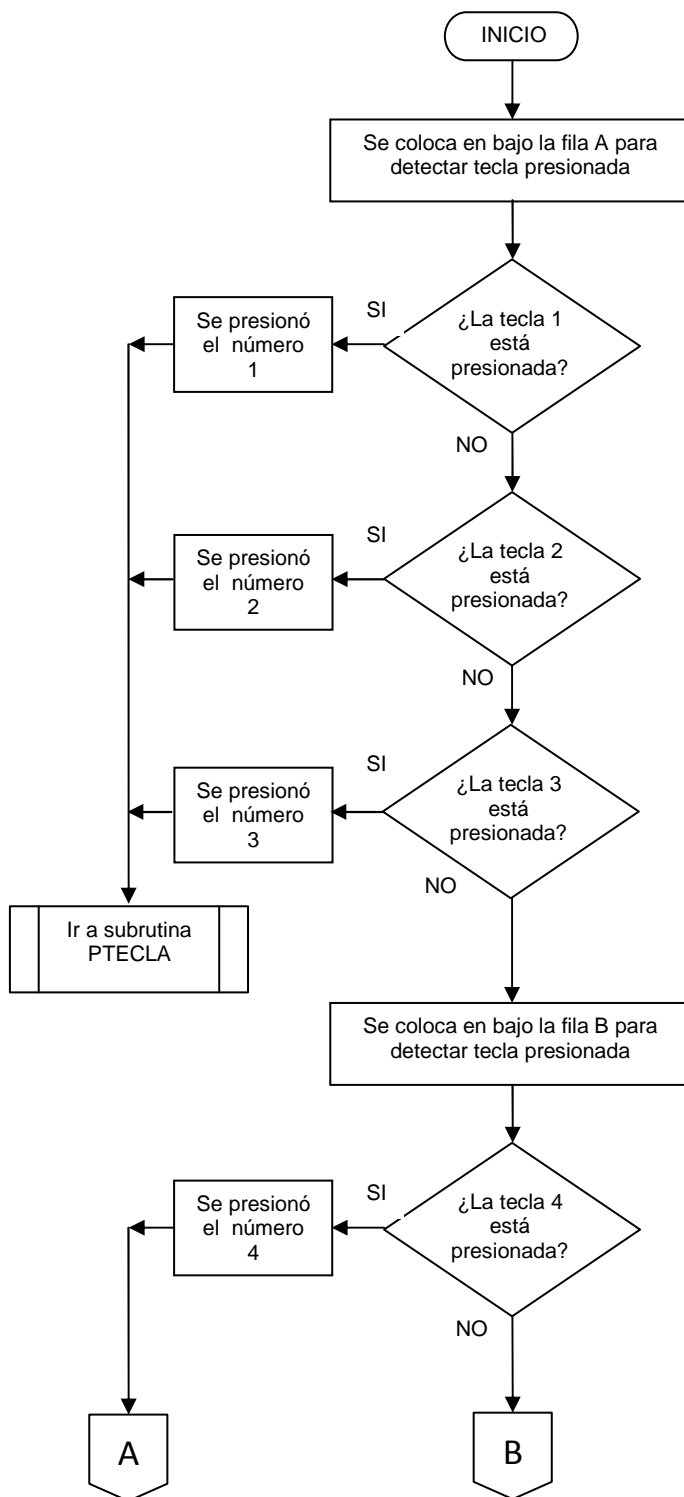


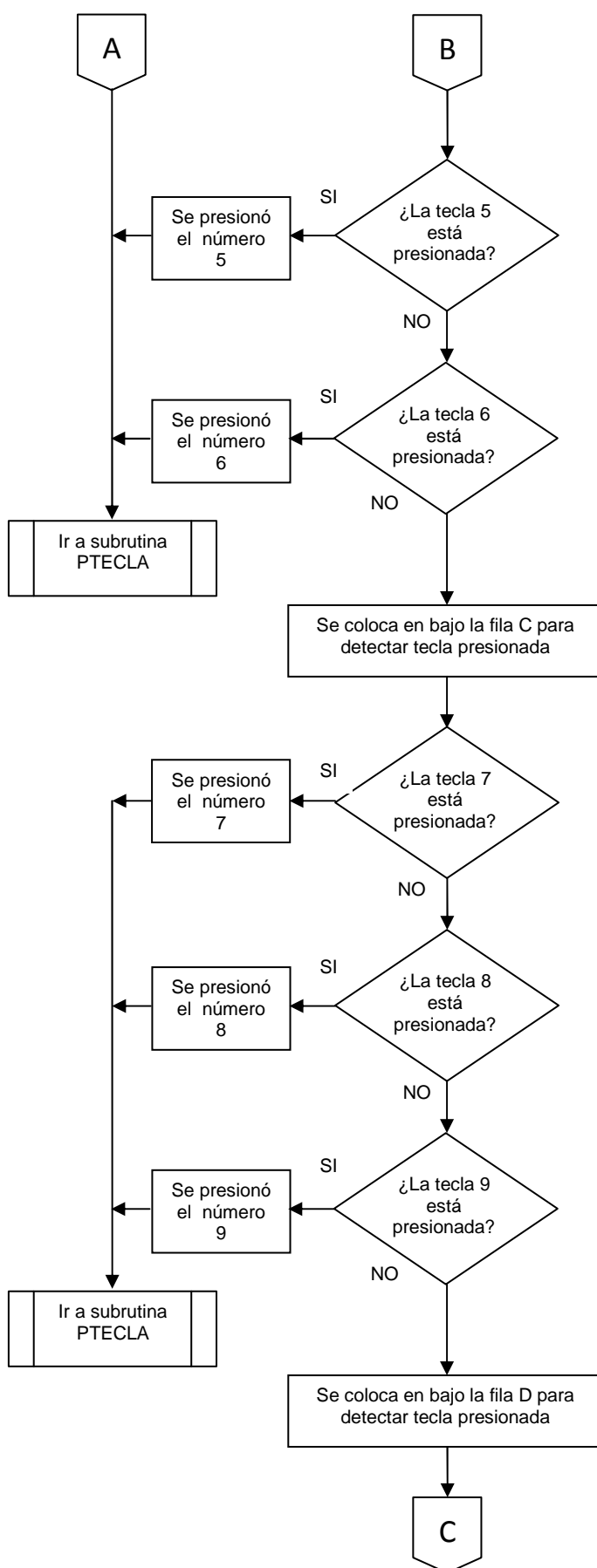
Cuando se presiona la tecla * se ingresa a diferentes pantallas para cambiar los parámetros de corriente y tiempo de soldadura.

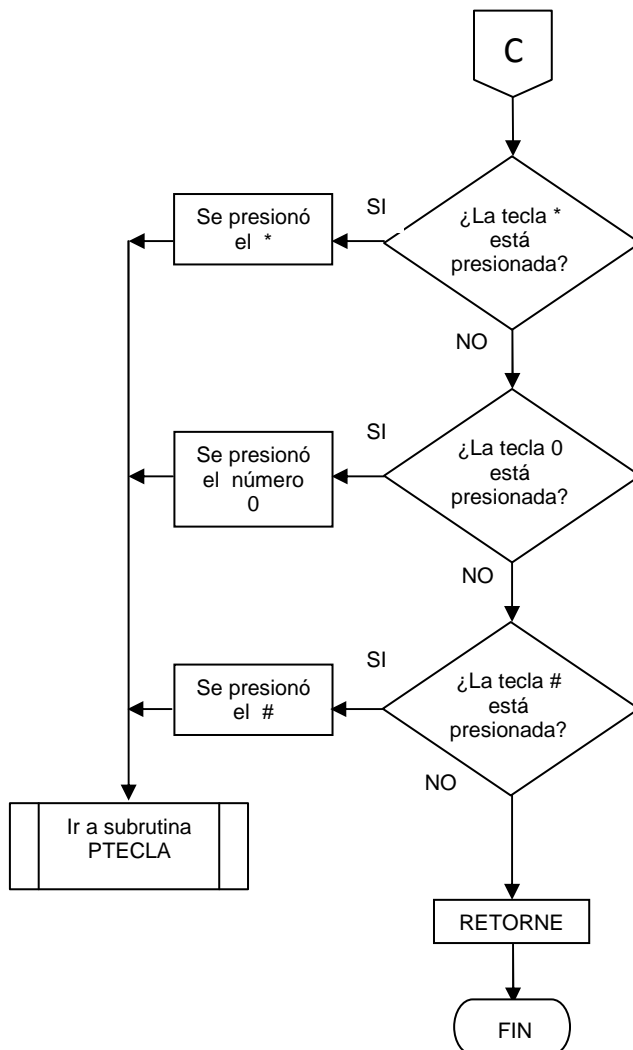
Una vez presionada la tecla asterisco se pide ingresar un valor de porcentaje de corriente entre 50 y 99%, si el valor ingresado no está dentro del rango aparece un mensaje de dato fuera de parámetro y vuelve a pedir que ingrese el valor. Si el valor está dentro del rango pide que se presione la tecla # para confirmar el ingreso del dato, presionada la tecla # se despliega una pantalla que confirma que el dato fue ingresado y se envía el dato vía comunicación serial.

Luego se pide ingresar un valor de tiempo comprendido entre 0 y 99 ciclos, una vez presionado un número pide que se presione la tecla # para confirmar el ingreso del dato, presionada la tecla # se despliega una pantalla que confirma que el dato fue ingresado y se envía el dato vía comunicación serial. Se tiene una subrutina que se llama barrido y se detalla a continuación.

BARRIDO:

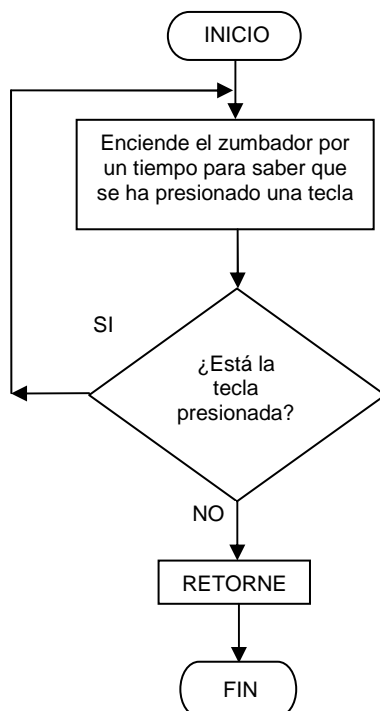






La subrutina barrido sirve para detectar que tecla del teclado matricial ha sido presionada, almacena este dato en un registro y retorna. Para saber que tecla se ha presionado, lo que se hace es fijar una fila en estado BAJO, entonces esta fila será barrida y si encuentra la condición de igualdad, se sabe que esa tecla es la que se encuentra presionada.

Puesto que una persona requiere como mínimo 100 milisegundos para presionar una tecla, en ese tiempo el microcontrolador realiza por lo menos 10 barridos, por lo que siempre detectará que se pulsó una tecla. Se tiene una subrutina ptecla que se detalla a continuación.

PTECLA:

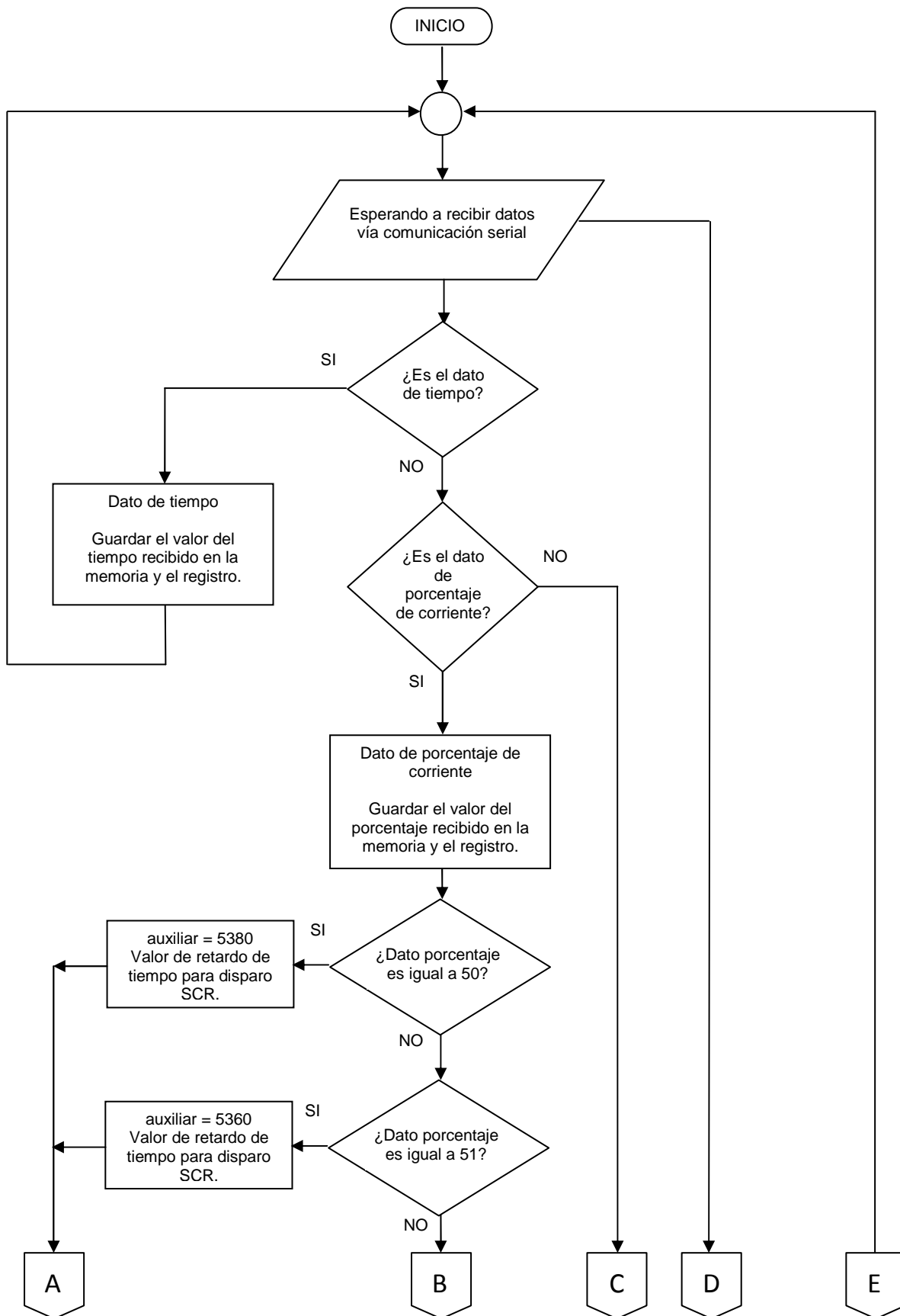
Esta subrutina se conoce como un antirebote de tecla, sirve para asegurar que la tecla que se ha presionado ingrese una sola vez en el microcontrolador.

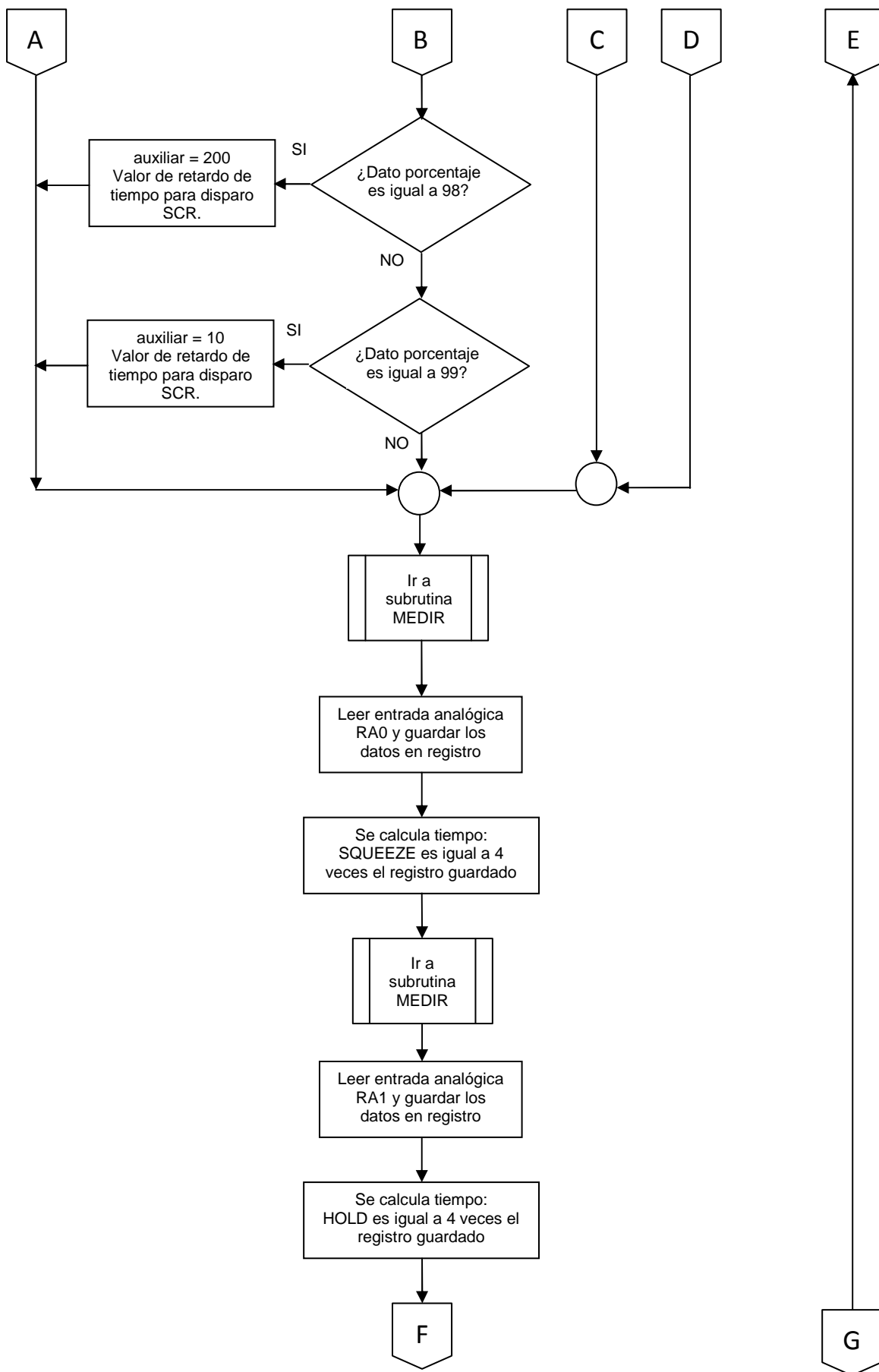
3.2.3. ALGORITMO DE CONTROL DEL CONTROLADOR PRINCIPAL

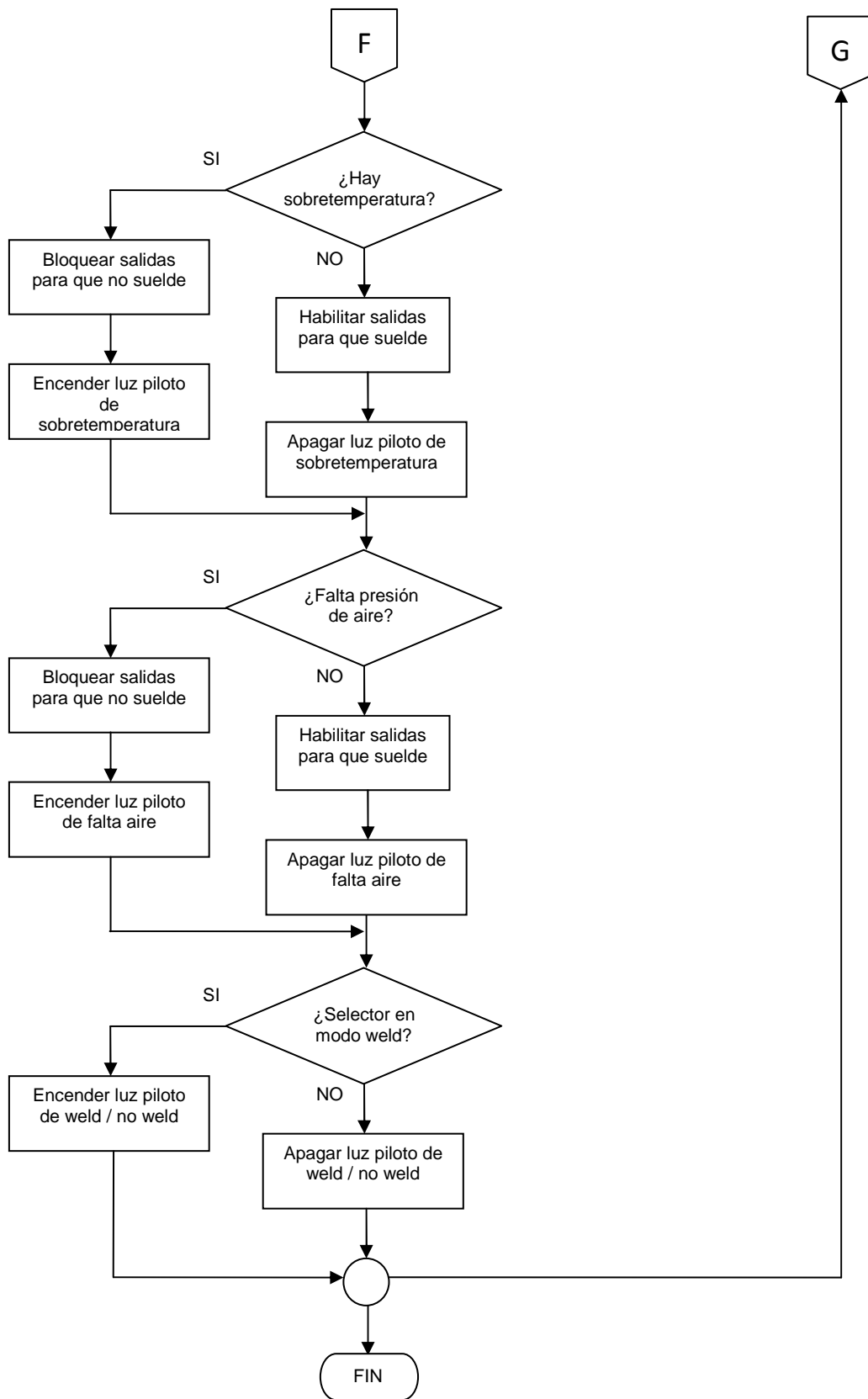
Este microcontrolador está dedicado a realizar la operación de soldadura revisando las entradas (switch de temperatura, switch weld / no weld, switch de pedal, salida del sensor de presión de aire) unido a los datos de porcentaje de corriente y número de ciclos que proporciona el otro microcontrolador. Con estas señales lo que hace el controlador es comandar una electroválvula para la activación del cilindro que mueve los brazos de soldadura y envía las señales para que los SCR's se activen y produzca paso de corriente en los brazos de la soldadora de punto.

A este microcontrolador se ha denominado como CONTROLADOR PRINCIPAL, a continuación se detalla el algoritmo de control.

PROGRAMA PRINCIPAL:







El programa principal está alerta para recibir los datos de porcentaje de corriente y tiempo de soldadura vía comunicación serial del microcontrolador de interfaz

hombre-máquina, una vez recibido los datos se almacenan en la memoria EEPROM del microcontrolador. A cada porcentaje de corriente se le asigna un retardo de tiempo que sirve para el disparo de los SCR's.

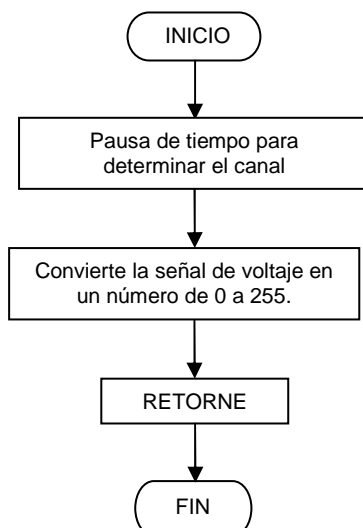
Con la ayuda de la subrutina MEDIR se obtiene un valor que sirve para determinar los tiempos de squeeze y hold.

Luego se realiza el barrido de las entradas switch de temperatura y sensor de presión de aire, si alguno de los dos se encuentra activado se bloquea las salidas (electroválvula, disparo SCR's) y se activa la luz piloto respectiva.

Por último, se revisa el estado del switch weld / no weld. Si este switch se encuentra en la opción weld se activa la luz piloto.

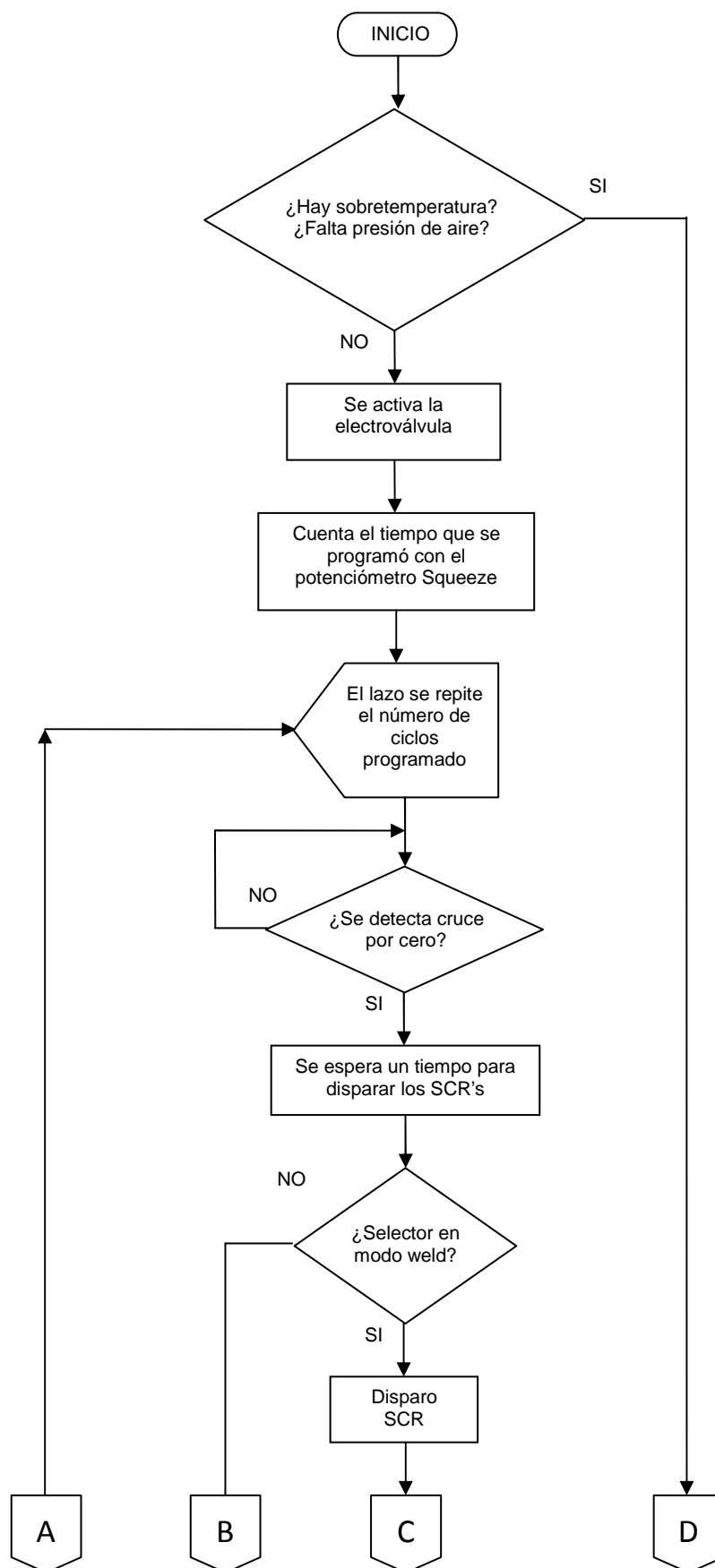
El programa principal tiene una subrutina que se llama medir y se detalla a continuación.

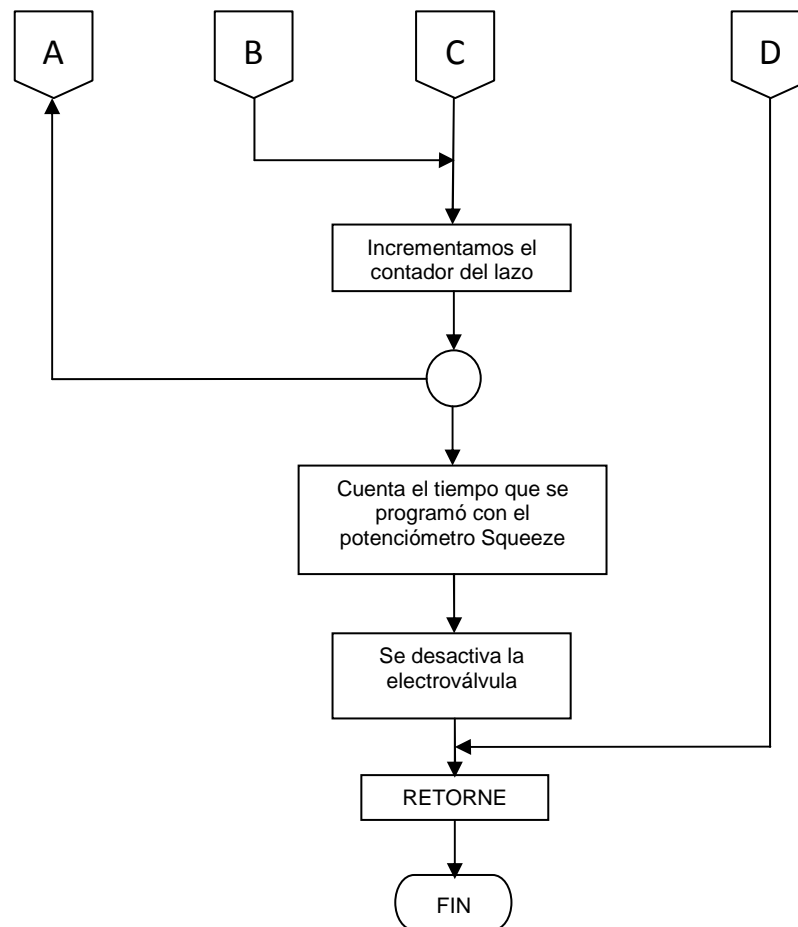
MEDIR:



Esta subrutina se utiliza para transformar la entrada analógica conectada en el puerto RA0 ó RA1 en un número de 8 bits, en donde 0 voltios corresponde al número 0 en el registro y 5 voltios al número 255.

SOLDAR:





Cuando se presiona el switch de pedal se provoca una interrupción en el puerto RB0, el microcontrolador deja de realizar cualquier comando que esté ejecutando y salta a realizar el programa soldar.

El programa soldar revisa si las entradas detectan falta de aire o sobret temperatura, en caso de detectar alguna alarma retorna a realizar el programa anterior sin realizar ninguna acción.

Si no existe ninguna alarma se enciende la electroválvula, espera el tiempo programado con el potenciómetro squeeze y entra en un lazo que cuenta los ciclos (tiempo) que se recibió vía comunicación serial.

Dentro del lazo hay que sincronizar el disparo con la red, por lo que se espera hasta que el detector de cruce por cero se active, se realiza un retardo de tiempo y se envía una señal para disparar los SCR`s si el selector se encuentra en weld. Para el caso de no weld lo único que no se realiza es el disparo a los SCR`s; este lazo se repite el número de ciclos programados.

Una vez que ha culminado el lazo, espera el tiempo programado con el potenciómetro hold y apaga la electroválvula.

Por último retorna a la siguiente línea de comando que se estaba ejecutando.

3.3. CONFIGURACIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN DE AIRE

La pantalla contiene 3 botones: botón UP que sirve para seleccionar algún modo e incrementar el valor ON/OFF fijado, el botón DOWN que sirve para seleccionar algún modo y disminuir el valor ON/OFF fijado y el botón SET que sirve para cambiar los modos y aceptar los cambios de valores.

3.3.1. MANIPULACIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN DE AIRE

Con la ayuda de los 3 botones (UP, DOWN y SET) se puede configurar los parámetros con los que se requiere funcione el sensor de presión de aire.

Para el caso de la soldadora de resistencia por puntos, el sensor debe operar en initial set mode, con la unidad de medición en psi, con la salida 1- 2 configurado en modo NC normalmente cerrado, tiempo de respuesta de 2,5 ms y auto preset mode.

En la Figura 3.3 se ilustra el diagrama de flujo con los 2 tipos de modos en el que puede operar el sensor.

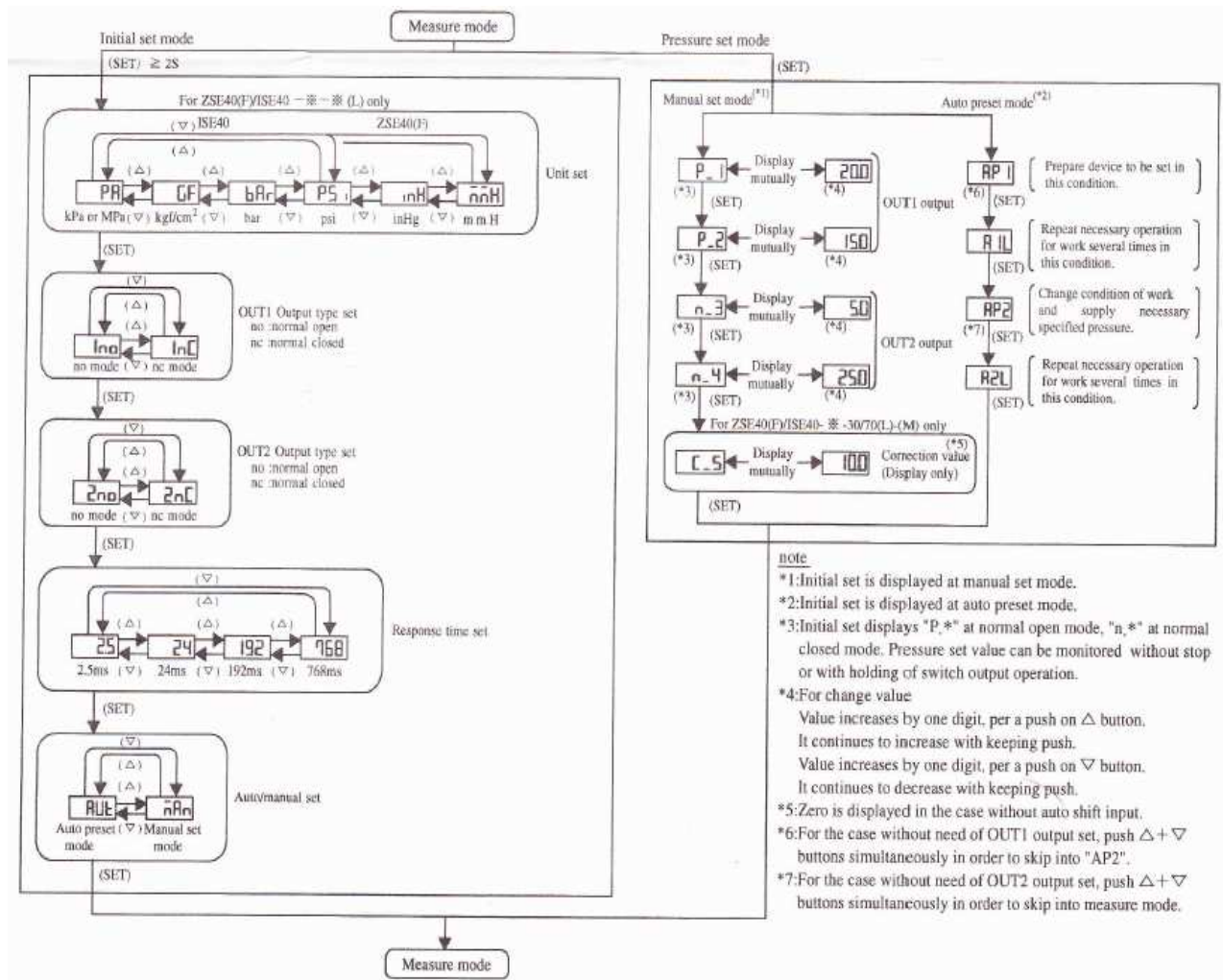


Figura 3.3 Diagrama de flujo funcionamiento del sensor de presión ISE40

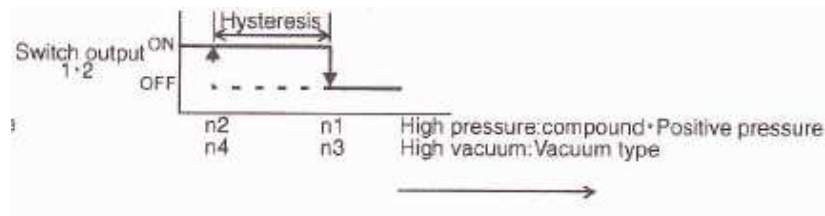
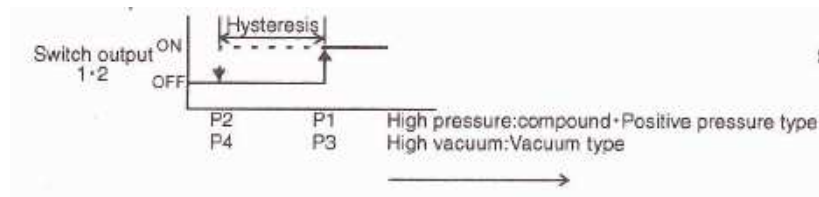
3.3.2. MODOS DE SALIDA DEL SENSOR DE PRESIÓN

El sensor tiene 2 modos para la salida: modo histéresis y modo ventana comparadora. Tanto en el modo de histéresis como en el modo de ventana comparadora se puede configurar de dos maneras la salida: normalmente abierto ó normalmente cerrado.

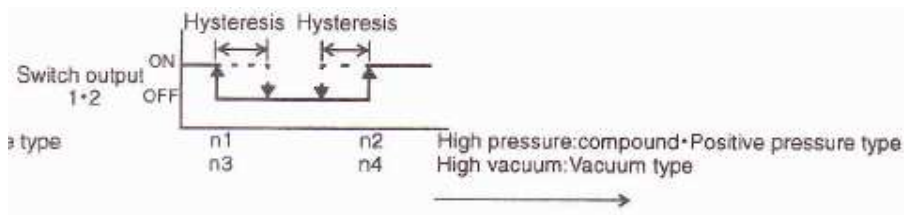
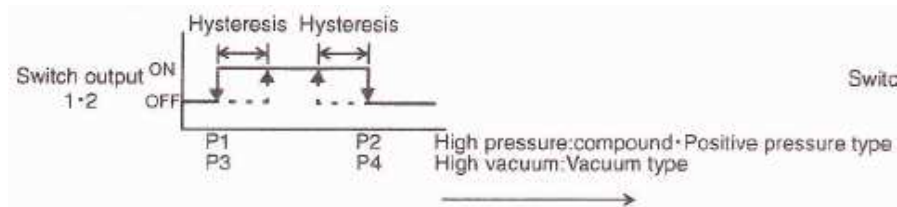
Se debe configurar el sensor en modo de histéresis con la salida normalmente cerrada, donde los valores de n2, n4 son los valores en bajo y n1, n3 son los valores en alto del lazo de histéresis.

Por ejemplo si se necesita una presión de aire de 60 psi para el funcionamiento de la soldadora de resistencia por puntos se configura el sensor de aire con $n2 = n4 = 50$ psi y $n1 = n3 = 70$ psi.

En la figura siguiente se muestra el funcionamiento del sensor en ambos modos y maneras de configuración:



a) Modo histéresis



b) Modo ventana comparadora

Figura 3.4 Modos de salida del sensor de presión ISE40

En resumen, el sensor de presión de aire funcionaría como un switch ON/OFF en modo de histéresis de la manera normalmente cerrada; cuando la presión de aire esté dentro del lazo se garantiza que existe la presión mínima necesaria para que el cilindro tenga la fuerza en las puntas de contacto, asegurando la calidad del

punto en el proceso de soldadura, pero cuando la presión esté fuera del lazo la soldadora se bloquea no permitiendo iniciar el proceso de soldadura e indicando a través de un led luminoso en el sensor la activación de la salida por estar fuera del lazo.

3.4. CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SOLDADURA

A continuación se indican las diferentes pantallas que se generan en la soldadora de resistencia por puntos para ingresar los datos de porcentaje de corriente y el tiempo de soldadura, utilizando el teclado matricial y la pantalla LCD.

Además, se indican las otras opciones de funcionamiento que tiene la soldadora como la opción weld / no weld, y los potenciómetros de squeeze y hold.

3.4.1. FUNCIONAMIENTO DE LA PANTALLA LCD Y TECLADO

Una vez que se enciende la soldadora de resistencia por puntos se presenta una secuencia de pantallas que son necesarias para introducir datos, cambiar parámetros e indicar valores de operación.

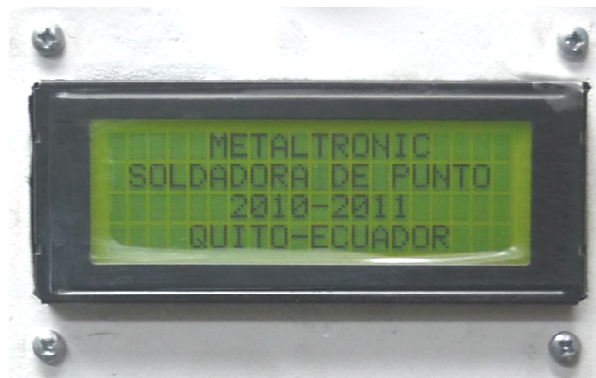


Figura 3.5 Pantalla LCD mostrando el saludo inicial.

Luego del saludo inicial, aparecen en la pantalla los últimos valores cargados de porcentaje de corriente y tiempo de soldadura, tal como se muestra en la figura siguiente.

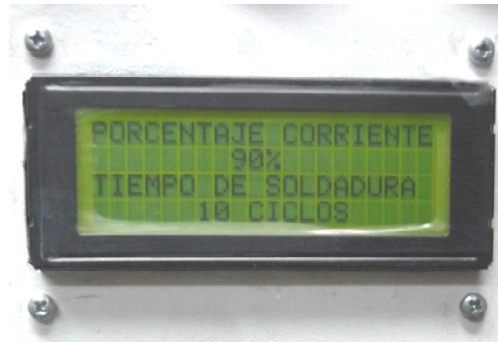


Figura 3.6 Pantalla LCD mostrando los datos iniciales de soldadura.

Para cambiar los parámetros de soldadura hay que ingresar a un submenú de programación y esto se logra solo cuando se presiona la tecla asterisco (*) como lo indica la Figura 3.7.



Figura 3.7 Tecla para ingreso a submenú.

Una vez que se ha presionado la tecla asterisco (*) aparece la pantalla de la Figura 3.8, en la cual se pide el ingreso del porcentaje de corriente que debe estar dentro del rango de 50 a 99%.

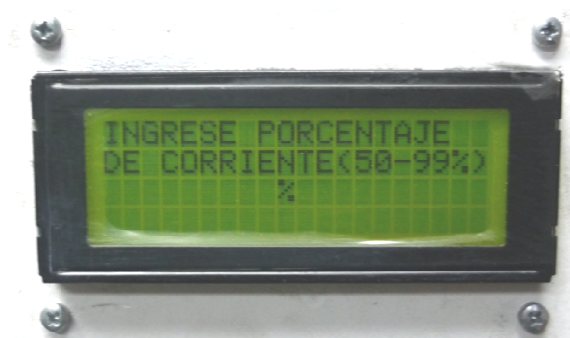


Figura 3.8 Ingreso de porcentaje de corriente.

Con la ayuda del teclado se ingresa un número comprendido entre 50 a 99 y se pide que se presione la tecla numeral para confirmar el cambio.



Figura 3.9 Confirmación del valor de porcentaje de corriente.

Si el dato está mal ingresado se queda con el valor que estaba cargado y aparece la pantalla de la Figura 3.10.



Figura 3.10 Pantalla de dato mal ingresado.

Una vez que se ha confirmado el dato de porcentaje de corriente se pide ingresar el dato de tiempo de soldadura en ciclos.



Figura 3.11 Ingreso del tiempo de soldadura.

Con la ayuda del teclado se ingresa el número de ciclos que se desea y se pide presionar la tecla numeral para confirmar el cambio.



Figura 3.12 Confirmación del valor de tiempo de soldadura.

Una vez presionado la tecla numeral se visualiza un mensaje de aceptación del dato, indicado en la Figura 3.13.



Figura 3.13 Mensaje de aceptación de datos.

Al final de este proceso lo que se tiene es la pantalla con los datos ingresados de porcentaje de corriente y tiempo de soldadura.

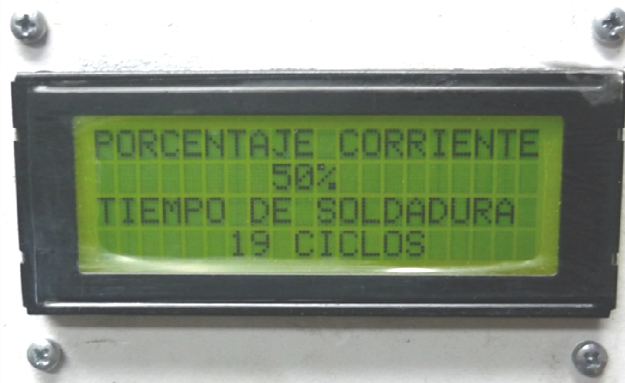


Figura 3.14 Pantalla con los nuevos datos ingresados.

3.4.2. FUNCIONAMIENTO DE LAS OPCIONES WELD/NO WELD, SQUEEZE Y HOLD

La soldadora de resistencia por puntos tiene 3 opciones que son: tiempo de squeeze, tiempo de hold y estado weld/no weld.

El tiempo de squeeze, es el que transcurre desde que se activa la electroválvula hasta que se envía corriente a las puntas o caps. El tiempo de hold es el tiempo que transcurre desde que se deja de enviar corriente a las puntas hasta que se desenergiza la electroválvula, tal como se muestra en la Figura 3.15.

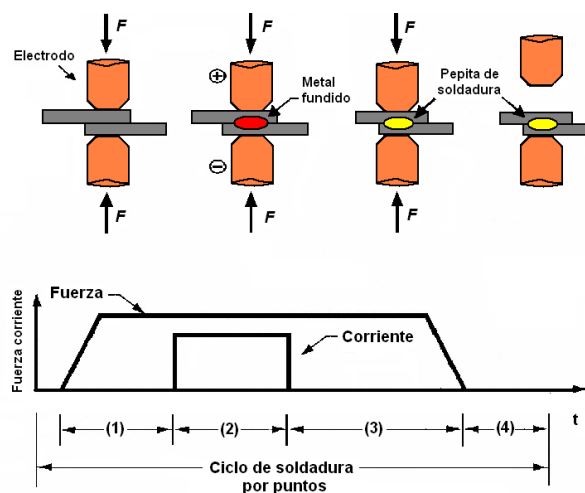


Figura 3.15 Etapas de la soldadura de resistencia por puntos.

Los tiempos de squeeze y hold se pueden calibrar de 0 a 1 segundo (0 a 60 ciclos) a través de un potenciómetro, tal como se muestra en la Figura 3.16.



Figura 3.16 Potenciómetros de squeeze y hold.

También se cuenta con un interruptor para escoger la opción weld ó no weld, tal como se muestra en la Figura 3.17, como su traducción al español lo indica es soldadura o no soldadura. Cuando se escoge la opción no weld se cumple el ciclo de soldadura completo pero no hay corriente en las puntas de soldadura.



Figura 3.17 Switch de weld / no weld.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

El objetivo de este capítulo es verificar el funcionamiento de la soldadora de resistencia por puntos, que consiste en la medición de corriente y número de ciclos, medición de la fuerza en los brazos de soldadura, comprobar el funcionamiento de alarmas en los modos de fallos previstos y realizar las pruebas destructivas para verificar la calidad de los puntos.

En la Figura 4.1 se muestra la vista frontal, lateral y posterior de la soldadora de resistencia por puntos.



Vista frontal



Vista lateral



Vista posterior

Figura 4.1 Vistas de la soldadora de resistencia por puntos.

4.1. PRUEBA DE LA CORRIENTE Y CICLOS DE SOLDADURA

La soldadura de resistencia por puntos tienen 3 factores que afectan a su proceso: la corriente, el tiempo y la resistencia.

A través de la interfaz con el operador se puede ingresar dos de estos parámetros: la corriente y el tiempo de soldadura.

Se va a comprobar que el porcentaje de corriente y el número de ciclos que se configuran a través de la interfaz sean igual a los medidos en el proceso.

Para realizar las mediciones de corriente y ciclos de soldadura de resistencia por puntos se utiliza el medidor de las siguientes características:

Marca: Miyachi

Modelo: MM – 315A

Recogedor de medición: Bobina toroidal (MB-500-15)

Corriente:

Rango de medición: 1 – 9.99 KA (Rango Lo) / 5 – 49.9KA (Rango Hi)

Valores medidos: Root mean square (RMS)

Precisión: 2% a fondo de escala

Número de impulsos: 0 – 9

Primer ciclo: 1 – 99 ciclos

Medición final: AC menos del 2% a fondo de escala

DC menos del 75% del ciclo anterior

Display: 3 dígitos

Tiempo de soldadura:

Rango de medición: AC 1 – 99 ciclos.

DC 1 – 40 ciclos / 0.01 – 0.8 segundos.

Valores medidos: Número de ciclos o tiempo para ciclo de soldadura completo

Precisión: +/- 0 ciclos

Display: 2 dígitos

Grados de conducción:

Rango de medición: 30 – 180°.

Valores medidos: Grado máximo de conducción del intervalo de medida.

Precisión: +/- 5%

Display: 3 dígitos



Figura 4.1 Medidor de corriente y ciclos Miyachi MM – 315A

Se realiza la medición de corriente y tiempo con el equipo Miyachi MM – 315A, para lo cual se coloca la bobina toroidal en el brazo inferior de la soldadora de resistencia por puntos y se empieza a variar el porcentaje de corriente combinado con diferentes tiempos (ciclos) de soldadura, tal como se muestra en la Figura 4.2.



Figura 4.2 Medición de corriente y ciclos con el equipo Miyachi MM – 315A

En la Tabla 4.1 se muestra los resultados de la medición, donde el dato real es el que se mide con el equipo Miyachi y el dato teórico es el que se espera obtener, sabiendo que al 99% corresponde a 12.000 amperios.

PORCENTAJE CORRIENTE				TIEMPO		
%	Teórico	Medido	ERROR PORCENTUAL	Teórico	Medido	ERROR PORCENTUAL
	KA	KA		ciclos	ciclos	
50	6,12	5,9	3,59%	16	16	0,00%
51	6,24	6	3,85%	16	16	0,00%
52	6,36	6,1	4,09%	16	16	0,00%
53	6,48	6,3	2,78%	16	15	6,25%
54	6,60	6,4	3,03%	16	16	0,00%
55	6,72	6,5	3,27%	16	15	6,25%
56	6,84	6,6	3,51%	16	16	0,00%
57	6,96	6,8	2,30%	16	16	0,00%
58	7,08	6,9	2,54%	16	16	0,00%
59	7,20	7	2,78%	16	16	0,00%
60	7,32	7,2	1,64%	16	15	6,25%
61	7,44	7,4	0,54%	16	16	0,00%
62	7,56	7,5	0,79%	16	16	0,00%
63	7,68	7,5	2,34%	16	14	12,50%
64	7,80	7,6	2,56%	16	16	0,00%
65	7,92	7,7	2,78%	16	16	0,00%
66	8,04	7,8	2,99%	16	16	0,00%
67	8,16	8	1,96%	16	16	0,00%
68	8,28	8,1	2,17%	16	15	6,25%
69	8,40	8,3	1,19%	16	16	0,00%
70	8,52	8,5	0,23%	14	14	0,00%
71	8,64	8,5	1,62%	14	14	0,00%
72	8,76	8,6	1,83%	14	14	0,00%
73	8,88	8,7	2,03%	14	12	14,29%
74	9,00	8,7	3,33%	14	14	0,00%
75	9,12	9,0	1,32%	14	14	0,00%
76	9,24	9,2	0,43%	14	14	0,00%
77	9,36	9,2	1,71%	14	14	0,00%
78	9,48	9,3	1,90%	14	12	14,29%
79	9,60	9,4	2,08%	14	14	0,00%
80	9,72	9,5	2,26%	12	12	0,00%
81	9,84	9,6	2,44%	12	12	0,00%
82	9,96	9,8	1,61%	12	12	0,00%
83	10,08	9,9	1,79%	12	12	0,00%
84	10,20	10,0	1,96%	12	12	0,00%
85	10,32	10,1	2,13%	12	11	8,33%
86	10,44	10,2	2,30%	12	12	0,00%
87	10,56	10,4	1,52%	12	12	0,00%
88	10,68	10,5	1,69%	12	12	0,00%
89	10,80	10,6	1,85%	12	12	0,00%
90	10,92	10,7	2,01%	10	10	0,00%
91	11,04	10,8	2,17%	10	10	0,00%
92	11,16	10,9	2,33%	10	8	20,00%
93	11,28	11,1	1,60%	10	10	0,00%
94	11,40	11,2	1,75%	10	10	0,00%
95	11,52	11,4	1,04%	10	9	10,00%
96	11,64	11,5	1,20%	10	10	0,00%
97	11,76	11,6	1,36%	10	10	0,00%
98	11,88	11,7	1,52%	10	10	0,00%
99	12,00	11,8	1,67%	10	10	0,00%

Tabla 4.1 Tabla de mediciones de corriente y tiempo

En la tabla anterior se muestra el resultado de las mediciones realizadas en la soldadora de resistencia por puntos, haciendo una comparación entre los datos teóricos y los datos medidos.

Con esta prueba lo que se quiere demostrar es que la corriente y el tiempo de soldadura varía según lo indicado en la tabla, sin realizar pruebas con láminas de metal.

En la Figura 4.3 se observa el resultado de la comparación entre los datos teóricos y los datos medidos de la corriente de soldadura de resistencia por puntos.

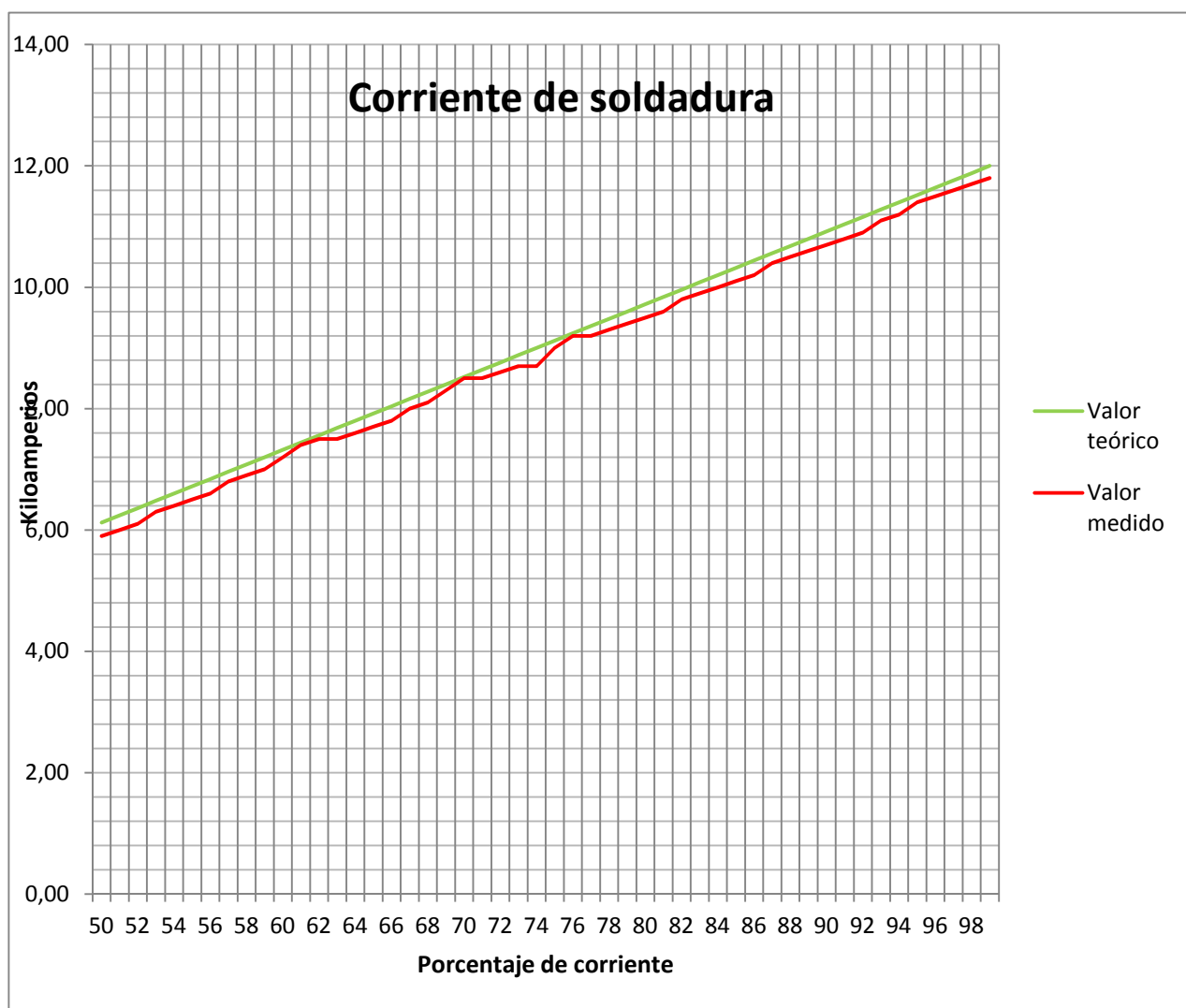


Figura 4.3 Representación gráfica de la corriente de soldadura.

4.2. PRUEBA DE LA FUERZA DE LOS BRAZOS DE SOLDADURA

Un factor que afecta a la soldadura de resistencia por puntos es la resistencia, la cual es inversamente proporcional a la fuerza con que se presiona los metales y a la presión de aire con que trabaja el cilindro que cierra los brazos de soldadura.

Para realizar las mediciones de fuerza en los brazos de la soldadora de resistencia por puntos se utiliza el medidor de las siguientes características:

Marca: Diverse

Rango de medición:

Europeo: 0,5 a 1,25KN
1 a 2,5KN
2 a 5,0KN
4 a 10KN

USA: 100 a 250lbf
200 a 500lbf
400 a 1000lbf
800 a 2000lbf

Display: Fuerza de apriete
Fuerza pico

Precisión: 2% a fondo de escala

Hueco del electrodo: 6mm (1/4") mínimo
20mm (3/4") máximo



Figura 4.4 Medidor de fuerza Diverse.

Se realiza la medición de fuerza con el equipo Diverse, para lo cual se coloca la galga de medición en el brazo fijo de la soldadora de resistencia por puntos programada en cualquier porcentaje y tiempo de soldadura, tal como se muestra en la Figura 4.5.



Figura 4.5 Medición de fuerza con el equipo Diverse

Se empieza a variar el regulador de presión de aire para registrar la fuerza de los brazos a las distintas presiones de aire que van de 0 a 90 psi.

PRESIÓN (psi)	FUERZA (lbf)
20	165
30	225
40	300
50	370
60	440
70	520
80	580
90	640

Tabla 4.2 Tabla de mediciones de fuerza.

Con esta prueba se demuestra la verdadera fuerza que tienen los brazos de la soldadora de resistencia por puntos a diferentes presiones de aire. Con estos resultados de fuerza unidos a los valores de corriente y tiempo se puede saber los espesores máximos de las láminas que se pueden soldar en la soldadora.

En el siguiente gráfico se observa el resultado de la fuerza en función de la presión de aire.

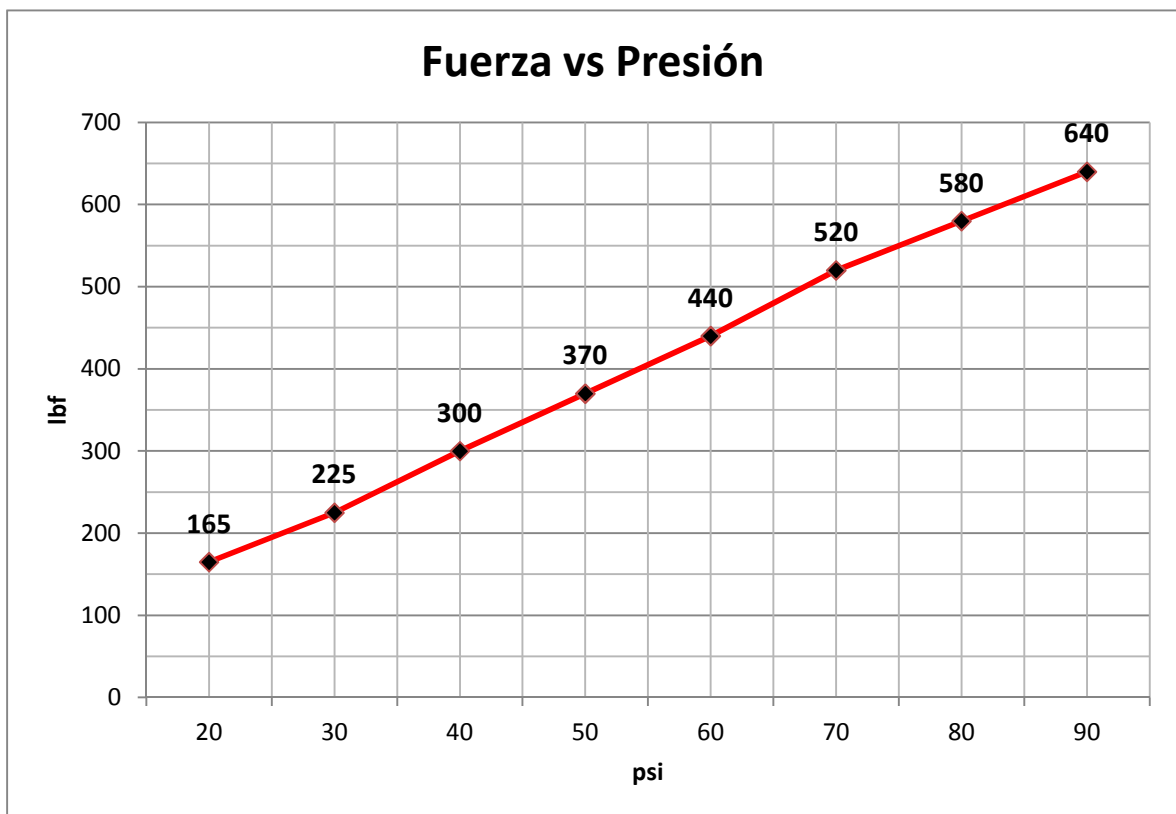


Figura 4.6 Representación gráfica de la fuerza en los brazos de soldadura.

Como se observa en la gráfica, la presión de aire es directamente proporcional a la fuerza aplicada en los brazos de la soldadora de resistencia por puntos desde los 20 hasta los 90 psi. La fuerza está relacionada en forma inversa con la resistencia a mayor presión de aire se tendrá mayor fuerza pero menor resistencia y menor generación de calor, en cambio a menor presión de aire se tendrá menor fuerza pero mayor resistencia y mayor generación de calor siguiendo la relación $\text{Calor} \approx I^2 \times R \times T$.

4.3. PRUEBA DE FALLOS DE LA SOLDADORA DE RESISTENCIA POR PUNTOS

La soldadora de resistencia por puntos tiene 2 alarmas: Falta de aire y sobrettemperatura en el transformador.

4.3.1. ALARMA POR FALTA DE AIRE

Para un buen proceso de soldadura de resistencia por puntos, es importante mantener la presión de aire dentro de un rango determinado que garantice la calidad del punto.

Se ingresa los valores $n2 = n4 = 60\text{psi}$ y $n1 = n3 = 70\text{psi}$ en el switch de presión de aire, luego con la ayuda del regulador se gira la perilla para subir ó bajar la presión de aire y el sensor detecte un valor fuera de los valores programados para que se produzca la alarma por falta de aire.

En el tablero de control se enciende una luz piloto de color rojo que se encuentra debidamente etiquetado, en la cual se indica que existe falta de aire. Además, se puede observar en el sensor que la salida OUT1 se encuentra encendida lo que quiere decir que la presión de aire actual está fuera del lazo de histéresis programado.



Figura 4.7 a) Tablero indicando falta de aire b) Salida del sensor de aire activada.

4.3.2. ALARMA POR SOBRETENPERATURA EN EL TRANSFORMADOR

Para proteger el transformador principal de calentamientos excesivos se coloca un switch de temperatura, el cual alerta sobre problemas en el circuito de enfriamiento de la soldadora.

En el tablero de control se enciende una luz piloto de color rojo que se encuentra debidamente etiquetado, en la cual se indica que existe sobretemperatura.

Para provocar que se dispare el switch de temperatura se calienta las cercanías con un cautín de 40W. Después de un tiempo el switch cambia de estado y se dispara la alarma de sobretemperatura, tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 4.8 Tablero indicando alarma por sobretemperatura.

4.4. COMPROBACIÓN DE LA CALIDAD DEL PUNTO DE SOLDADURA MEDIANTE PRUEBAS DESTRUCTIVAS

Se utiliza el método “peel” como prueba destructiva, la cual consiste en utilizar láminas de muestra y realizar la soldadura, luego con ayuda de herramientas o manualmente, se separan las partes y se mide la pepita de soldadura resultante.

Este procedimiento se sigue primero para un acero de bajo contenido de carbón de espesor 1,0mm, obteniendo una pepita de soldadura de 5,1mm tal como se muestra en la Figura 4.7.



Figura 4.7 Medición de la pepita de soldadura con material 1,0mm.

La misma prueba se realiza pero ahora con un acero de bajo contenido de carbón de espesor 1,2mm, obteniendo una pepita de soldadura de 5,5mm tal como se muestra en la Figura 4.8.



Figura 4.8 Medición de la pepita de soldadura con material 1,2mm.

En la siguiente tabla constan los parámetros de fuerza, corriente y número de ciclos recomendados para los espesores con los que se realiza las pruebas destructivas.

**OPTIMUM CONDITIONS
SCHEDULES FOR SPOT WELDING LOW CARBON STEEL-SAE 1010**

1	2		3		4		5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Electrode Diameters and Shape*		Flat Face	Radius Face	Min. D (Inches)	Radius R (Inches)									
0.010	0.125	2	2	Norse Taper No. 1	160	4	5	4,000	130	0.113	1/4	3/8			
0.021	0.187	2	2	Norse taper No. 1	244	6	8	6,500	300	0.139	3/8	7/16			
0.031	0.187	2	2	Norse Taper No. 1	326	8	10	8,000	530	0.161	1/2	7/16			
0.040	0.250	3	3	Norse Taper No. 2	412	10	12	8,800	812	0.181	3/4	1/2			
0.050	0.250	3	3	Norse Taper No. 2	554	14	16	9,900	1,195	0.210	7/8	9/16			
0.062	0.250	3	3	Norse Taper No. 2	670	18	20	10,600	1,717	0.231	1	5/8			
0.078	0.312	3	3	Norse Taper No. 2	903	25	30	11,800	2,365	0.260	1 1/8	11/16			
0.094	0.312	4	4	Norse Taper No. 3	1,160	34	35	13,000	3,054	0.304	1 1/4	3/4			
0.109	0.375	4	4	Norse Taper No. 3	1,440	45	40	14,200	3,672	0.338	1 5/16	13/16			
0.125	0.375	4	4	Norse Taper No. 3	1,760	60	45	15,600	4,300	0.375	1 1/2	7/8			
0.156	0.500	6	6	Male or Female Threaded	2,500	93	50	18,000	6,500	0.446	1 3/4	1			
0.187	0.625	6	6	Male or Female Threaded	3,340	130	55	20,500	9,000	0.516	2	1 1/4			
0.250	0.750	6	6	Male or Female Threaded	5,560	230	60	26,000	18,000	.660	4	1 1/2			

* Electrode Material-Class 2 Alloy

Tabla 4.3 Tabla de parámetros sugerida según el espesor del metal.

4.5. COMPROBACIÓN DE LAS OPCIONES WELD/NO WELD, SQUEEZE Y HOLD

Para comprobar el funcionamiento de estas dos opciones en conjunto se va a configurar la soldadora de resistencia por puntos en cualquier porcentaje de corriente, el tiempo de soldadura en 0 ciclos y los 2 potenciómetros se varían en 3 posiciones: mínimo, medio y máximo.

Como resultado se observa que no existe corriente en las puntas de soldadura y el tiempo total del proceso (tiempo de squeeze, más ciclos de soldadura, más tiempo de hold) se empieza a incrementar debido a que los tiempos de squeeze y hold varían desde 0 hasta 1 segundo respectivamente.



Figura 4.9 Configuración para probar el switch weld / no weld, tiempo de squeeze y hold.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

De las pruebas realizadas es posible llegar a las siguientes conclusiones:

- El objetivo principal de este proyecto, esto es, la automatización de una soldadora de punto estática que tenga las opciones para ingresar los parámetros de soldadura, opción de weld / no weld, y la alerta de alarmas, fue cumplido en su totalidad.
- La corriente de soldadura se calibró, utilizando el teclado matricial y la pantalla LCD, dentro de un rango del 50 al 99%; teniendo en cuenta que al 99% se tiene 13KA en los brazos.
- Se ingresó tiempos de soldadura dentro de un rango de 0 a 99 ciclos, utilizando el teclado matricial y la pantalla LCD.
- La soldadora dispone de dos potenciómetros para variar el tiempo de squeeze y hold que se necesite según el material a soldar. Estos tiempos se pueden variar de 0 a 1 segundos.
- Con el ingreso de los datos de porcentaje de corriente, tiempo de soldadura, squeeze y hold se realizó las pruebas obteniendo puntos de soldadura correctos tanto en dimensión como en aspecto.
- Se comprobó el funcionamiento de la opción weld / no weld, su principal función es para alinear las puntas de soldadura dando un ciclo completo de pero sin paso de corriente.

- La soldadora cuenta con dos tipos de alarmas que precautelan la calidad del producto, asegurando que exista la presión de aire suficiente; y la integridad de la máquina, sabiendo que existe sobrecalentamiento en el transformador por falta de enfriamiento.
- En el mercado nacional se encuentran máquinas soldadoras de resistencia por puntos, pero muy básicas con accionamientos manuales para abaratar el precio de la máquina; esta soldadora cuenta con todas las opciones que necesita la industria automotriz moderna para realizar su trabajo de forma eficiente y segura.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es recomendable revisar que las llaves principales de agua, para alimentar el circuito de enfriamiento, estén abiertas antes de empezar a trabajar
- Se debe tener en cuenta la limpieza y buen estado de los caps de soldadura para obtener puntos limpios y que cumplan con las medidas que aseguren su calidad.
- Es preferible que la soldadora de resistencia por puntos sea anclada al piso para mayor estabilidad.
- Se recomienda tener un breaker principal exclusivo para la soldadora de resistencia por puntos.
- Antes de soldar un nuevo conjunto, tomar en cuenta la capacidad tanto de corriente como de fuerza que la máquina puede ofrecer, basados en las tablas referenciales que existe para los diferentes materiales y espesores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Reyes, Carlos. “Aprenda a programar Microcontroladores PIC en lenguaje BASIC”. Ed. Gráficas Ayerve C. A., año 2004, Quito-Ecuador.
- General Motors. “Automotive Welding Handbook”. Revisado: Noviembre 1996.
- Microchip Technology Inc. “Data Sheet PIC 16F87XA”. Publicación DS39582B. Revisado: 2003.
- Miller Electric Mfg. Co. “Handbook for Resistance Spot Welding”. Publicación 003 335C. Revisado: 2010.
- Muhammad, Rashid. “Electrónica de Potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones”, Ed. Prentice Hall Hispanoamericana S.A., año 1993, México.
- Aro, Machines a Souder. “Mode d’ emploi”. Publicación: 301.664 P7.
- <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/PDF/cap-432.pdf>
- http://www.spotweldingconsultants.com/welding_basics_spanish.pdf

ANEXOS