

# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



**Proyecto de Tesis:**

**“Evaluación de confiabilidad de la Soldadura por Resistencia  
contra la Operación Strip & Dip”.**

**Alumna: Ing. Denice Ivonn Osuna Vargas.**

**Director de Tesis: Dr. Israel Saucedo Meza.**

**Mexicali, B. C. a 01 de Septiembre de 2011. AGRADECIMIENTOS**

---

Dedico este proyecto a Dios por el camino recorrido hasta ahora y a todas las personas que me apoyaron y motivaron para llevarlo a cabo.

## ÍNDICE

|   |      |
|---|------|
| ÍNDICE DE FIGURAS                       | II   |
| ÍNDICE DE TABLAS                        | V    |
| JUSTIFICACIÓN                           | VII  |
| OBJETIVO                                | VIII |
| METAS                                   | IX   |
| ALCANCE                                 | X    |
| RESUMEN                                 | XI   |
| ABSTRACT                                | XII  |
| SIMBOLOGÍA                              | XIII |
| GLOSARIO                                | XIV  |
| <br>                                    |      |
| <b>CAPÍTULO 1</b>                       |      |
| INTRODUCCIÓN                            |      |
| <br>                                    |      |
| 1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA          | 1    |
| 1.1.1 Descripción del Corporativo       | 1    |
| 1.1.2 Perfil de la Compañía             | 1    |
| 1.1.3 Divisiones Operativas             | 2    |
| 1.1.4 Automatización Industrial         | 2    |
| 1.1.5 Productos ofrecidos por ASCO      | 3    |
| 1.1.6 Página Web de ASCO                | 3    |
| 1.1.7 Proceso de Ascotech, S.A. de C.V. | 4    |

## CAPÍTULO 2

---

---

## GENERALIDADES

|   |    |
|---|----|
| 2.2 CONCEPTOS BÁSICOS Y DEFINICIONES              | 5  |
| 2.2.1 Estructura y operación de una bobina        | 5  |
| 2.2.2 Operación strip & dip                       | 13 |
| 2.2.3 Procesos y equipos para unir                | 17 |
| 2.2.3.1 Definición                                | 17 |
| 2.2.3.2 Orígenes de la soldadura                  | 18 |
| 2.2.3.3 Tipos de procesos de soldadura            | 19 |
| 2.2.3.4 La unión por soldadura                    | 23 |
| 2.2.3.5 Tipos de soldaduras                       | 24 |
| 2.2.3.6 Calidad de la soldadura                   | 26 |
| 2.2.3.7 Métodos de inspección y prueba            | 28 |
| 2.2.3.8 Soldabilidad                              | 30 |
| 2.2.3.9 La soldadura como una operación comercial | 31 |
| 2.2.4 Metodología Seis Sigma                      | 33 |
| 2.2.4.1 Definir (D)                               | 34 |
| 2.2.4.2 Medir (M)                                 | 35 |
| 2.2.4.3 Analizar (A)                              | 35 |
| 2.2.4.4 Mejorar [Improve] (I)                     | 36 |
| 2.2.4.5 Controlar (C)                             | 36 |

## CAPÍTULO 3

### DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA

|  |    |
|--|----|
| 3.1 DEFINICIÓN/MEDICIÓN  | 37 |
| 3.1.1 Definición del Proyecto                                  | 37 |
| 3.1.2 Métrico Primario   | 39 |
| 3.1.3 Métrico Secundario                                       | 40 |
| 3.1.4 Mapa de Proceso  | 41 |
| 3.1.5 Análisis de Modo y Efecto de Falla de un Proceso (PFMEA) | 43 |
| 3.2 ANÁLISIS   | 45 |
| 3.2.1 Hipótesis  | 46 |
| 3.2.2 Prueba de Hipótesis                                      | 46 |
| 3.3 MEJORA   | 49 |
| 3.3.1 Diseño de Experimentos                                   | 49 |

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

|  |    |
|--|----|
| 4.1 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL PROCESO ACTUAL Y EL PROCESO PROPUESTO A TRAVÉS DE EXAMINACIÓN MICROSCÓPICA | 55 |
| 4.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA TRABAJO FUTURO   | 68 |
| 4.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS   | 69 |

---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1 Marcas de automatización industrial de Emerson Electric Co.  | 2  |
| Figura 1.2 Aplicaciones de los productos de ASCO.   | 3  |
| Figura 1.3 Pagina Web de ASCO.  | 3  |
| Figura 2.1 Principales partes de la válvula solenoide.  | 5  |
| Figura 2.2 Estructura de una bobina.  | 7  |
| Figura 2.3 Corte transversal de una bobina.   | 7  |
| Figura 2.4 Comportamiento magnético de una bobina.  | 8  |
| Figura 2.5 Bobina del solenoide desenergizada y bobina del solenoide energizada.  | 8  |
| Figura 2.6 Corriente alterna y corriente directa.   | 9  |
| Figura 2.7 Opciones de conexión.  | 10 |
| Figura 2.8 Bobina de propósito general.   | 10 |
| Figura 2.9 Bobina hermética.  | 11 |
| Figura 2.10 Bobina a prueba de explosión.   | 11 |
| Figura 2.11 Bobina clase F.   | 11 |
| Figura 2.12 Bobina clase H.   | 11 |
| Figura 2.13 Perilla de ajuste.  | 13 |
| Figura 2.14 Lijas de tambores.  | 13 |
| Figura 2.15 Base de bobina.   | 14 |
| Figura 2.16 Deslizar las terminales en un solo sentido.   | 14 |
| Figura 2.17 Sujetar la bobina y remover el recubrimiento.   | 15 |
| Figura 2.18 Enrollar el alambre de magneto sin recubrimiento.   | 15 |
| Figura 2.19 Sumergir en el crisol con soldadura.  | 15 |
| Figura 2.20 Aplicar Joyamide.   | 16 |
| Figura 2.21 Diagrama de métodos de unión.   | 17 |
| Figura 2.22 Fundamentos de la soldadura con arco eléctrico: (1) antes de la soldadura; (2) durante la soldadura, se funde la base metálica y se agrega el material de aporte al conjunto fundido y (3) la soldadura terminada.  | 20 |
| Figura 2.23 Soldadura fuerte por fusión.  | 22 |
| Figura 2.24 Soldadura blanda en olas, en la cual se aplica soldante fundido a través de un orificio estrecho sobre la parte inferior de un tablero de circuitos impresos para conectar los alambres de plomo componentes.   | 23 |
| Figura 2.25 Cinco tipos básicos de uniones: (a) empalmada, (b) de esquina, (c) superpuesta, (d) en T y (e) de bordes.   | 24 |
| Figura 2.26 Diversas formas de soldaduras de filete: (a) unión de esquina con filete interno único; (b) unión de esquina con filete externo único; (c) unión superpuesta con filete doble y (d) unión en T con filete doble.  | 25 |
| Figura 2.27 Algunas soldaduras con surco típicas: (a) soldadura con surco cuadrada, un lado; (b) soldadura con surco en bisel único; (c) soldadura con surco en V único; (d) soldadura con surco en U único; (e) soldadura con surco en J único; (f) soldadura con surco en V doble para secciones más gruesas. | 25 |
| Figura 2.28 (a) Soldadura con inserto y (b) soldadura en ranura.  | 25 |
| Figura 2.29 (a) Soldadura de puntos y (b) soldadura engargolada.  | 26 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.30 (a) Soldadura en flanco y (b) soldadura en superficie.  | 26 |
| Figura 2.31 Diferentes formas de cuarteadoras en una soldadura.   | 27 |
| Figura 2.32 Microcuarteaduras en una gota de soldadura de metal producida mediante arco eléctrico con electrodo consumible.   | 27 |
| Figura 2.33 Fusión incompleta.  | 28 |
| Figura 2.34 (a) Perfil de soldadura deseado para una unión soldada única con surco en V. La misma unión, pero con varios defectos de soldadura: (b) excedente de corte, en donde se ha fundido una porción de la parte de metal base; (c) material de aporte, una depresión en la soldadura bajo el nivel de la superficie metálica base adyacente; y (d) desbordamiento, en la cual el metal de soldadura se derrama más allá de la unión sobre la superficie de la parte base, pero no ocurre fusión. | 28 |
| Figura 2.35 Pruebas mecánicas usadas en la soldadura: (a) prueba de tensión de cizalla en la soldadura con arco eléctrico, (b) prueba de rompimiento de filete, (c) prueba de tensión de cizalla en la soldadura de punto y (d) prueba de desprendimiento para soldadura de puntos.   | 29 |
| Figura 2.36 Posiciones para soldadura (definidas aquí para soldaduras en ranuras): (a) plana, (b) horizontal, (c) vertical y (d) sobre cabeza.  | 31 |
| Figura 3.1 Diagrama de Pareto de los tipos de desecho.  | 38 |
| Figura 3.2 Gráfica de Control de los PPM's de desecho.  | 39 |
| Figura 3.3 Gráfica de Control de los PPM's de retrabajo.  | 40 |
| Figura 3.4 Mapa de proceso actual.  | 41 |
| Figura 3.5. Mapa de proceso propuesto.  | 43 |
| Figura 3.6 Operación de embobinado.   | 45 |
| Figura 3.7 Operación de remache.  | 45 |
| Figura 3.8 Operación de ensamble del yoke.  | 46 |
| Figura 3.9 Operación de moldeo.   | 46 |
| Figura 3.10 Remache con el parámetro actual.  | 47 |
| Figura 3.11 Remache con el parámetro propuesto.   | 47 |
| Figura 3.12 Remache hecho con la máquina 1.   | 48 |
| Figura 3.13 Remache hecho con la máquina 5.   | 48 |
| Figura 3.14 Categoría de la soldadura conformante y no conformante.   | 50 |
| Figura 3.15 Corrida 1.  | 51 |
| Figura 3.16 Corrida 2.  | 52 |
| Figura 3.17 Corrida 3.  | 52 |
| Figura 3.18 Corrida 4.  | 52 |
| Figura 3.19 Corrida 5.  | 53 |
| Figura 3.20 Corrida 6.  | 53 |
| Figura 3.21 Corrida 7.  | 53 |
| Figura 3.22 Corrida 8.  | 53 |
| Figura 4.1 Vista de la sección longitudinal de la muestra C1 - A (proceso actual) (50x).  | 55 |
| Figura 4.2 Segunda vista de la sección longitudinal de la muestra C1 - A (50x).   | 56 |
| Figura 4.3 Vista de la sección transversal de la muestra C1 - B (proceso actual) (50x).   | 56 |
| Figura 4.4 Vista de la sección longitudinal de la muestra C2 - A (proceso   | 57 |

|  |    |
|--|----|
| actual) (50x).   |    |
| Figura 4.5 Vista de la sección transversal de la muestra C2 - B (proceso actual) (50x).  | 57 |
| Figura 4.6 Vista de la sección longitudinal de la muestra P1 - A (proceso propuesto) (50x).  | 58 |
| Figura 4.7 Segunda vista de la sección longitudinal de la muestra P1 - A (50x).  | 58 |
| Figura 4.8 Vista de la sección transversal de la muestra P1 - B (proceso propuesto) (50x).   | 59 |
| Figura 4.9 Vista de la sección longitudinal de la muestra P2 - A (proceso propuesto) (50x).  | 59 |
| Figura 4.10 Vista de la sección transversal de la muestra P2-B (proceso propuesto) (50x).  | 60 |
| Figura 4.11 Fotomicrografía de la muestra C1 - A (proceso actual) (las flechas 1 indican el aislante derretido y la flecha 2 indica la soldadura).   | 60 |
| Figura 4.12 Fotomicrografía de la muestra P1 - B (proceso propuesto) (la flecha 1 indica el aislante en los alambres de magneto. No hay aislante visible entre el remache y el pin).   | 61 |
| Figura 4.13 Fotomicrografía de la muestra P2 - B (proceso propuesto) (como en la figura 3.34, el aislante no es visible en los alambres de magneto entre el remache y el pin).   | 61 |
| Figura 4.14 Fotomicrografía de la muestra C1 - A (proceso propuesto) (las flechas 1 indican el halo de aislante alrededor de los alambres de magneto. La flecha 2 indica la soldadura. También se observan residuos de soldadura en la banda con acabado dentado).                 | 62 |
| Figura 4.15 Fotomicrografía de la muestra P1 - A (proceso propuesto) (el halo alrededor de los alambres de magneto probablemente es aislante).   | 62 |
| Figura 4.16 Fotomicrografía de la muestra P1 - A (proceso propuesto) (la flecha 1 indica el alambre de magneto aplastado entre el remache y el pin. No hay aislante visible entre los alambres de magneto. La flecha 2 indica el depósito de aislante de los alambres de magneto). | 63 |
| Figura 4.17 Fotomicrografía de la muestra A1 - L (200 amperes y soldadura actual) (8x) (se observa la fusión del alambre de magneto abajo del pin en la parte central izquierda).  | 63 |
| Figura 4.18 Fotomicrografía de la muestra A2 - L (200 amperes y soldadura actual) (8x) (se observan alambres de magneto aplastados por el remache. Algo de fusión de alambre de magneto se observa en la esquina superior derecha).  | 64 |
| Figura 4.19 Fotomicrografía de la muestra A3 - L 260 amperes y soldadura actual) (8x) (se observa fusión de los alambres de magneto entre el pin y la banda con acabado dentado).  | 64 |
| Figura 4.20 Fotomicrografía de la muestra A4 - L (260 amperes y soldadura actual) (8x) (se observan los alambres de magneto fundidos entre el pin y la banda con acabado dentado. Los límites débiles son visibles).   | 65 |
| Figura 4.21 Fotomicrografía de la muestra A1 - T (200 amperes y soldadura actual) (8x) (se observan los alambres de magneto  | 65 |

---

|   |    |
|---|----|
| considerablemente aplastados por la banda con acabado dentado en la parte superior izquierda).  |    |
| Figura 4.22 Fotomicrografía de la muestra A2 - T (200 amperes y soldadura actual) (8x) (se observa residuos de resina entre los alambres de magneto y el remache en la parte inferior derecha y fusión de los alambres de magneto y la banda con acabado dentado en la parte superior derecha). | 66 |
| 4.23 Fotomicrografía de la muestra A3 - T (260 amperes y soldadura actual) (8x) (se observa que los alambres de magneto no están aplastados).   | 66 |
| Figura 4.24 Fotomicrografía de la muestra A4 - T (260 amperes y soldadura actual) (8x) (se observa que el pin aplasta a los alambres de magneto).   | 67 |
| Figura 4.25 Gráfica comparativa de retrabajo y desperdicio.   | 68 |

### ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 2.1 Rangos de funcionamiento del voltaje.                     | 9  |
| Tabla 2.2 Voltaje estándar.   | 9  |
| Tabla 2.3 Voltaje no estándar.                                      | 10 |
| Tabla 2.4 Temperatura permitida.                                    | 12 |
| Tabla 3.1 Análisis de Modo y Efecto de Falla de un Proceso (PFMEA). | 44 |
| Tabla 3.2 Resultados de la prueba de hipótesis 1.                   | 47 |
| Tabla 3.3 Resultados de la prueba de hipótesis 2.                   | 47 |
| Tabla 3.4 Resultados de la prueba de hipótesis 3.                   | 48 |
| Tabla 3.5 Valores de los Factores del Diseño de Experimentos.       | 50 |
| Tabla 3.6. Combinaciones de los parámetros.                         | 51 |
| Tabla 3.7 Orden de las corridas.                                    | 51 |

---

---

## **JUSTIFICACIÓN**

La aplicación de una nueva operación dentro del proceso de la manufactura de la bobina es una técnica utilizada comúnmente por las empresas, ya que es necesario realizar cambios o adaptaciones radicales para hacer frente a nuevos retos y oportunidades que se presentan.

Ascotech, S.A. de C.V. en su objetivo de satisfacer al cliente a través de la mejora continua y el cumplimiento de las normas establecidas, evalúa la confiabilidad de la Soldadura por Resistencia contra la Operación Strip & Dip.

---

---

## **OBJETIVO**

Probar la confiabilidad de la Soldadura por Resistencia, implementarla y eliminar la Soldadura Strip & Dip, evitando así el uso de componentes dañinos para el ser humano y el medio ambiente, eficientando a la vez el proceso.

---

## **METAS**

- ◆ Reducir el desperdicio por Circuito Abierto a menos de 1,000 PPMS.
- ◆ Ahorro en suministro de proveedores por \$54,000 dólares anuales.
- ◆ Incrementar el Nivel de Servicio.

---

---

## **ALCANCE**

La primera fase de este proyecto considera todos los productos que incluyen en su estructura la bobina número de parte 238210-032-D, la cual representa el 25% de la producción anual de la empresa y su función consiste en generar la fuerza necesaria para que la válvula solenoide realice su trabajo.

En la segunda fase, se incluirá el resto de los números de parte de las bobinas que conforman el proceso de Red Hat I y Red Hat II.

---

## RESUMEN

Casi toda empresa industrial, comercial y de servicios se encuentra en la necesidad de reestructuración para operar más eficazmente en un mundo cada vez más competitivo. La efectividad en costos y la confiabilidad del producto, sin capacidad en exceso, son las claves para desarrollar una actividad exitosa en todas las áreas de los negocios, las industrias y el gobierno.

Ascotech, S.A. de C.V. inicio labores en Mexicali, B.C. en Marzo de 1987 siendo su giro principal la manufactura y distribución de válvulas. En Julio de 2004 la empresa agregó a su proceso la manufactura y distribución de bobinas bajo los nombres de Red Hat I y Red Hat II.

En el área de Red Hat I y en el área de Red Hat II, se utiliza una barra Kester para el proceso de Termination Soldering, la cual esta compuesta por 97.5% de Plomo, 1.5% de Plata y 1% de Estaño. En Mayo de 2006, la empresa fue informada que Wassco (proveedor de la barra Kester) descontinuó la manufactura de la misma ya que la Unión Europea prohibió el uso del

---

Plomo en la fabricación de productos, por considerarse dañino para el ser humano y el medio ambiente de acuerdo con la directiva 2002/95/CE de Restricción de ciertas Sustancias Peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos (RoHS del inglés "Restriction of Hazardous Substances").

Ascotech, S.A. de C.V. permanentemente mide el desempeño de sus procesos con la finalidad de encontrar áreas de oportunidad para hacerlos más eficientes y mantener la satisfacción del cliente. En el área de Red Hat I y de Red Hat II han sido detectados problemas que han disminuido el desempeño del mismo como circuito abierto, fallas de hipot, cables dañados, fallas de resistencia y huecos en el moldeo.

En base a las dos situaciones descritas previamente, se define el proyecto llamado "Evaluación de confiabilidad de la Soldadura por Resistencia contra la Operación Strip & Dip".

Los resultados obtenidos a través de la aplicación de la Metodología Seis Sigma y del Análisis Comparativo entre el Proceso Actual y el Proceso propuesto a través de examinación microscópica han mostrado que la Soldadura por Resistencia es más eficiente que la Operación Strip & Dip.

La operación de soldadura por resistencia se implementó en la empresa en Octubre de 2008 y durante el seguimiento al mismo el promedio que se tiene en retrabajo en lo que va del año fiscal 2009 es 0.90%, mientras que el promedio que se tenía en retrabajo en el año fiscal 2008 fue de 2.05%.

Con respecto al desperdicio el promedio que se tiene en retrabajo en lo que va del año fiscal 2009 es 0.42%, mientras que el promedio que se tenía en retrabajo en el año fiscal 2008 fue de 0.79%.

## **ABSTRACT**

Almost all industrial, commercial and service company is in need of restructuring to operate more effectively in an increasingly competitive world. The cost effectiveness and product reliability, without excess capacity, are the keys to developing a successful activity in all areas of business, industry and government.

Ascotech, S.A. de C.V. started operating in Mexicali, B.C. in March 1987 and was dedicated mainly to manufacturing and distributing valves. In July 2004 the company added to its process the manufacturing and distribution of coils under the names Red Hat I and Red Hat II.

In the area of Red Hat I and Red Hat II, Kesterbar solder is used in the process of Soldering the Terminals. This solder is composed of 97.5% of Lead, 1.5% of Silver and 1% of Tin. In May 2006, the company was informed that Wassco (supplier of the Kesterbar solder) had discontinued manufacturing this product as the European Union had banned the use of Lead

---

in the manufacture of products because it was considered harmful to humans and the environment in accordance with Directive 2002/95/CE Restriction of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic apparatus.

Ascotech, S.A. de C.V. continuously measures the performance of their processes in order to find areas of opportunity to make them more efficient and maintain customer satisfaction. In the area of Red Hat I and Red Hat II problems have been detected that have reduced the performance such as open circuit and hipot failures, damaged cables, resistance faults and holes in the casting.

Based on the two situations previously described, a project entitled "Evaluation of reliability of the resistance welding versus the Strip & Dip operation".

The results obtained through the application of Six Sigma Methodology and Comparative Analysis between the Current and Proposed Process through microscopic examination showed that the resistance welding is more efficient than the Strip & Dip Operation.

The operation of resistance welding was implemented in the company in October 2008 and during follow-up it was determined that the average rework thus far in fiscal year 2009 is 0.90%, while the average rework in fiscal year 2008 was 2.05%.

With regard to waste in rework, so far in fiscal year 2009 it is 0.42%, while the average in fiscal year 2008 was 0.79%.

## **SIMBOLOGÍA**

°C = Grado centígrado.

°F = Grado fahrenheit.

$\mu$  = Millonésima parte de una unidad o  $10^{-6}$ .

$Al_2O_3$  = Óxido de aluminio.

Hz = Hertz

W = Watt.

---

---

## GLOSARIO

Cizalla. Herramienta parecida a unas tijeras grandes que sirve para cortar metal.

Coalescencia. Propiedad o capacidad de ciertas sustancias y cosas para unirse o fundirse con otras en una sola.

Desviación estándar. Se refiere a como se dispersan los valores con respecto al valor de tendencia central (media), con esto se da un intervalo para pronosticar un resultado en base a cierto grado de confiabilidad.

Epoxico. Polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor.

---

Halo. Fenómeno luminoso que consiste en un círculo blanco o irisado que aparece a veces alrededor de un objeto.

Kanban. Etiqueta de instrucción que nos da información acerca de que se va producir, en que cantidad, mediante que medios y como transportarlo.

PPM. Partes por millón.

Solenoides. Parte de la válvula por la cual circula el fluido.

UL. Underwriters Laboratories Inc.

Yoke. Componente que hace la función de una armadura en la bobina antes del Moldeo.

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.**

En el creciente auge industrial con un mercado y capacidad de fabricación extendidos, tanto en Europa como en la cuenca del Pacífico sur, las oportunidades y la necesidad de competencia técnica crecen notablemente. En este sentido, las compañías de Estados Unidos resienten el apremio de la competencia global como nunca antes. Hace 20 años, la competencia extranjera estaba centrada solo en algunas industrias -la electrónica y la automovilística, en particular- pero actualmente esta acción competitiva se ejerce en todas las industrias y en todo el mundo [21]. Casi toda empresa industrial, comercial y de servicios se encuentra en reestructuración para operar más eficazmente en un mundo cada vez más competitivo. Cada sector o segmento de estas organizaciones esta acrecentando la

---

---

intensidad de sus esfuerzos en la reducción de costos y el mejoramiento de la calidad [15]. La efectividad en costos y la confiabilidad del producto, sin capacidad en exceso, son las claves para desarrollar una actividad exitosa en todas las áreas de los negocios, las industrias y el gobierno [10].

### **1.1.1 Descripción del Corporativo.**

Emerson Electric Co., es una organización que manufactura con la más alta calidad sus productos, sistemas y servicios comerciales e industriales. La compañía está altamente reconocida por el desarrollo de nueva tecnología para satisfacer las demandas de los clientes.

La organización fue fundada en 1890 en St. Louis, MO y en la actualidad cuenta con más de 60 divisiones en más de 150 países. Dentro de estas 60 divisiones emplea a más 123,000 empleados alrededor del mundo.

En el año 2006 las ventas de Emerson Electric Co., ascendieron a más de \$15.5 billones de dólares, de los cuales \$8.3 billones de dólares fueron en EUA y el resto en todo el mundo. Teniendo con esto ganancias netas de más de \$1.1 billones de dólares.

### **1.1.2 Perfil de la Compañía.**

Automatic Switch Co. (ASCO) fue fundada en 1888 en Florham Park, NJ. En el año 2006 tuvo más de \$400 millones de dólares en ventas. En este momento cuenta con más de 3,000 empleados.

La forma de la distribución de las ventas son del 50% por parte de un distribuidor y el otro 50% son ventas directas con el cliente, esto debido a los 4,200 puntos de contacto que se tienen con el cliente.

Ascotech, S.A. de C.V., inicio labores en Mexicali, B.C., en Marzo de 1987, teniendo el nombre de Controles Generales de California, S.A. de C.V., posteriormente ITT Fluid Tech, S.A. de C.V., y a partir de Abril de 1996 lleva el nombre con el que actualmente se le conoce. Ascotech, S.A. de C.V., es subsidiaria de ASCO, una división de Emerson Electric Co.

El giro de Ascotech, S.A. de C.V., es el diseño y manufactura de válvulas operadas por solenoides, válvulas operadas por aire, válvulas operadas mediante motor, interruptores de presión y temperatura, indicadores de posición y componentes relacionados. Dichos productos son utilizados en aplicaciones industriales, comerciales y científicas para controlar el flujo de aceite, agua, vapor, gas, aire y prácticamente cualquier sustancia líquida o gaseosa.

Los productos tienen un alto nivel de calidad y están amparados por la Organización Internacional de Estándares en la versión ISO 9001:2000, por medio de la certificación que otorgaron a la empresa a partir de Agosto de 1995.

### **1.1.3 Divisiones Operativas.**

---

Emerson Electric Co., cuenta con más de 60 divisiones operativas, las cuales se clasifican en:

- ◆ Aplicaciones y Herramientas.
- ◆ Automatización Industrial.
- ◆ Control de Procesos.
- ◆ Control de Temperatura.
- ◆ Electrónica y Telecomunicaciones.

#### 1.1.4 Automatización Industrial.

Emerson Electric Co. provee automatización industrial mediante sistemas para el control de movimientos y sus componentes para numerosas industrias alrededor del mundo. Como se puede observar en la figura 1.1, ASCO se encuentra dentro de este segmento del mercado del corporativo.



Figura 1.1 Marcas de automatización industrial de Emerson Electric Co.

ASCO es conocido como el nuevo líder para el control de los fluidos, ya que es una empresa que ofrece más de 2,000 tipos de válvulas estándar para el control de los fluidos teniendo más de 30,000 variaciones para las aplicaciones específicas que cada cliente necesite. La figura 1.2, muestra las aplicaciones en donde se utilizan los productos manufacturados por ASCO.



Figura 1.2 Aplicaciones de los productos de ASCO.

### 1.1.5 Productos ofrecidos por ASCO.

La amplia gama de productos que ASCO manufactura se pueden clasificar de la siguiente manera:

- ◆ Controles neumáticos.
- ◆ Productos de combustión.
- ◆ Sensores.
- ◆ Sistemas de control.
- ◆ Sistemas de monitoreo de válvulas.
- ◆ Válvulas médico/analíticas.
- ◆ Válvulas solenoides.

### 1.1.6 Pagina Web de ASCO.

La página Web de ASCO es <http://www.ascovalve.com/> y se muestra en la figura 1.3.



Figura 1.3 Pagina Web de ASCO.

### 1.1.7 Proceso de Ascotech, S.A. de C.V.

#### ◆ Maquinado.

El área de Maquinado ocupa 20,000 pies cuadrados de superficie y provee el maquinado para algunas partes externas, es decir, se les hacen algunas perforaciones, cortes y terminados especiales a cada pieza. Posteriormente y según los requisitos de la pieza, se pasan a lavado, impregnado o rectificado, los cuales son procesos que preparan las piezas para el ensamble al lavarlas para quitar los aceites, la rebaba y al darles un tratamiento para que se cierren los poros y de esta manera evitar fugas u otras fallas en el producto terminado.

#### ◆ Fábrica de Bobinas.

Esta área de la empresa tiene 43,000 pies cuadrados y es aquí donde se fabrican las bobinas que son parte de los componentes que se utilizan en el ensamble de las válvulas. El

---

proceso de las bobinas se clasifica en Premoldeo y Moldeo. Premoldeo esta integrado por las operaciones previas al Moldeo y son: embobinar, remover el aislamiento en el alambre de magneto, aplicar soldadura a las terminales, remachar los cables de conexión a las terminales, doblar los cables de conexión y ensamblar el yoke. Moldeo se clasifica en Moldeo por Transferencia y Moldeo por Inyección. En el Moldeo por Transferencia se transfieren polimeros fijos hacia la cavidad de un molde a través de un pistón, mientras que en el Moldeo por Inyección se transfieren polimeros termoplásticos hacia la cavidad de un molde a través de una boquilla. El proyecto “Evaluación de confiabilidad de la Soldadura por Resistencia contra la Operación Strip & Dip”, se llevará a cabo en esta parte del proceso.

◆ **Ensamble.**

Con una superficie de 24,000 pies cuadrados el área de Ensamble produce una gran variedad de válvulas. Los componentes que se utilizan en el área de Ensamble son abastecidos en su mayoría por proveedores de Estados Unidos. Posteriormente a la manufactura de la válvula, esta es probada según los requerimientos de la misma y empacada para enviarse al cliente, al distribuidor o al Almacén de Producto Terminado.

## **CAPÍTULO 2**

### **GENERALIDADES**

#### **2.2 CONCEPTOS BÁSICOS Y DEFINICIONES.**

##### **2.2.1 Estructura y operación de una bobina.**

Una válvula solenoide es un dispositivo electromecánico que regula el paso de líquidos o gases en uno o varios conductos o tubos.

Las principales partes de la válvula solenoide son la bobina y el cuerpo, los cuales se indican en la figura 2.1.

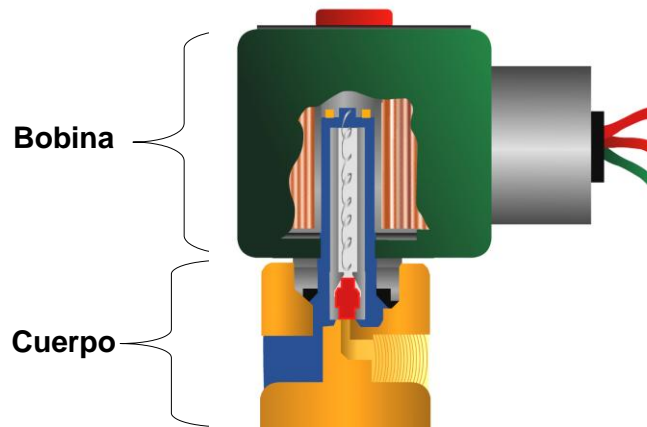


Figura 2.1 Principales partes de la válvula solenoide.

En el cuerpo se encuentra el conducto de entrada y de salida, los cuales se unen a un sistema para dar paso o detener determinado fluido. La bobina es el componente que genera la fuerza necesaria para que la válvula solenoide realice su función.

La operación de las bobinas se basa en un principio de la teoría electromagnética, según el cual, cuando circula una corriente a través de un alambre, este produce a su alrededor un campo magnético. Las líneas de fuerza que representan el campo magnético son perpendiculares a la dirección del flujo de la corriente. Si doblamos en algún punto el alambre para formar un bucle o espira, el campo magnético en esa parte del alambre se concentra dentro de la espira puesto que todas las líneas de fuerza apuntan en la misma dirección y convergen hacia el centro. Por lo tanto, si continuamos agregando espiras, formando una bobina propiamente dicha, los campos magnéticos creados por cada una se reforzaran mutuamente, configurando así un campo de mayor intensidad en el interior del sistema. El conjunto se comporta entonces como un electroimán.

Al igual que una corriente crea un campo magnético, un campo magnético puede crear una corriente eléctrica. Esto es una consecuencia del principio de conservación de la energía: "Un sistema tiende a mantener su energía constante".

Como quiera que el magnetismo no es sino una de las formas en que se manifiesta la energía, resulta que una bobina intenta mantener su flujo magnético (su energía magnética almacenada) constante. Si causas externas lo hacen disminuir, la bobina reaccionará creando una corriente que mantenga el flujo inicial. Si, por el contrario, causas externas lo hacen aumentar, la bobina reaccionará creando una corriente que origine un flujo contrario, a fin de disminuir el flujo y mantenerlo en su valor inicial.

Naturalmente esta situación no se puede mantener, ya que una bobina, por sí sola, no es capaz de generar energía indefinidamente. Pasado un cierto tiempo, la reacción de la bobina cesará y "aceptará" las condiciones impuestas desde el exterior [23].

Este comportamiento de las bobinas fue descubierto experimentalmente por Lenz, quien enunció su Ley de la siguiente manera: "Cuando varía el flujo magnético que atraviesa una bobina, esta reacciona de tal manera que se opone a la causa que produjo la variación". Es decir, si el flujo aumenta, la bobina lo disminuirá; si disminuye lo aumentará. Para conseguir

estos efectos, tendrá que generar corrientes que, a su vez, creen flujo que se oponga a la variación. Se dice que en la bobina ha aparecido una corriente inducida, y por lo tanto, una fuerza electromotriz inducida [20].

Las bobinas se miden en Henrios (H), pero como en la práctica es una unidad muy grande, se utilizan los Mili Henrios:  $mH = L/1000$  o los Micro Henrios:  $\mu F = \mu F/1000000$  [18].

El valor que tiene una bobina depende de:

- El número de espiras que tenga la bobina (a más vueltas mayor inductancia, o sea mayor valor en Henrios).
- El diámetro de las espiras (a mayor diámetro, mayor inductancia, o sea mayor valor en Henrios).
- La longitud del cable de que está hecha la bobina.
- El tipo de material de que esta hecho el núcleo, si es que lo tiene.

Las bobinas más comunes son:

◊ Con núcleo de hierro: Este tipo está hecho con un embobinado de alambre de cobre sobre un soporte de hierro dulce. Este tipo de bobinas solo son apropiadas para aplicaciones de electroimán, donde la corriente a través del embobinado induce un efecto de imantación temporal sobre el hierro.

◊ Con núcleo de aire: La bobina esta arrollada en el aire, o sea, que no lleva núcleo. La inductancia de este tipo de bobinas es muy baja, pero tiene la ventaja de que son muy apropiadas para trabajar en altas frecuencias.

◊ Con núcleo de ferrite: Este material está hecho con hierro, carbono y otros metales, produciendo una barra a partir de un granulado muy fino de estos elementos. Se utilizan mucho en receptores de radio. Este núcleo permite aumentar la inductancia de la bobina, y son apropiados para altas frecuencias.

◊ Con núcleo laminado: Este núcleo está compuesto por delgadas chapas de silicio, que se entrelazan formando un núcleo compacto. Permite manejar elevadas potencias, y disminuye las pérdidas y el calentamiento.

La figura 2.2 muestra la estructura de una bobina.

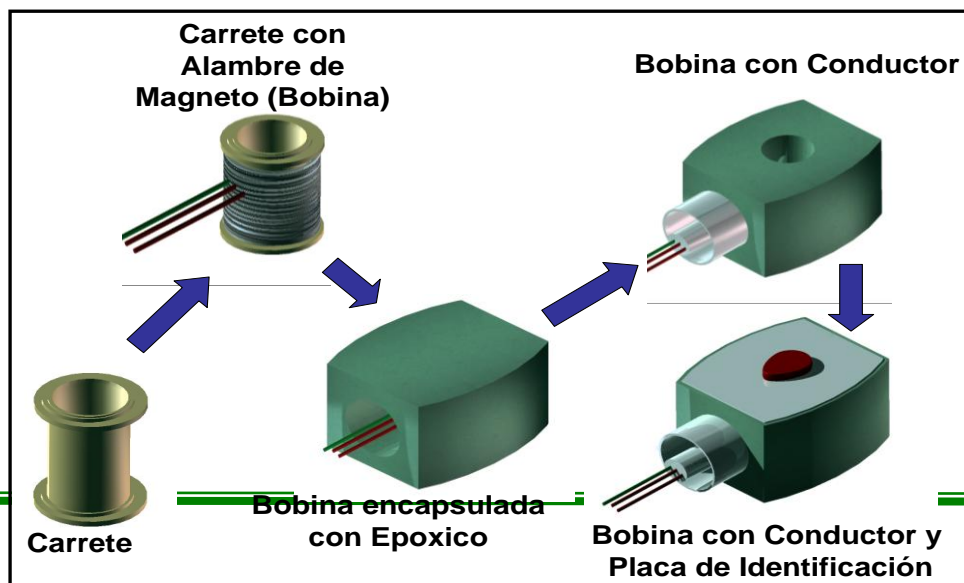


Figura 2.2 Estructura de una bobina.

La figura 2.3 muestra el corte transversal de una bobina.

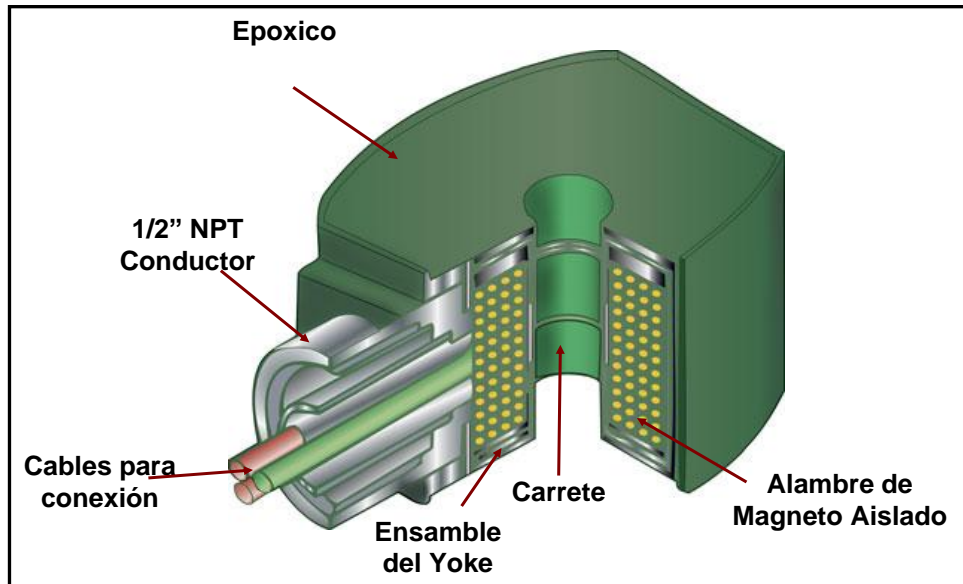


Figura 2.3 Corte transversal de una bobina.

La figura 2.4 muestra el comportamiento magnético de una bobina.

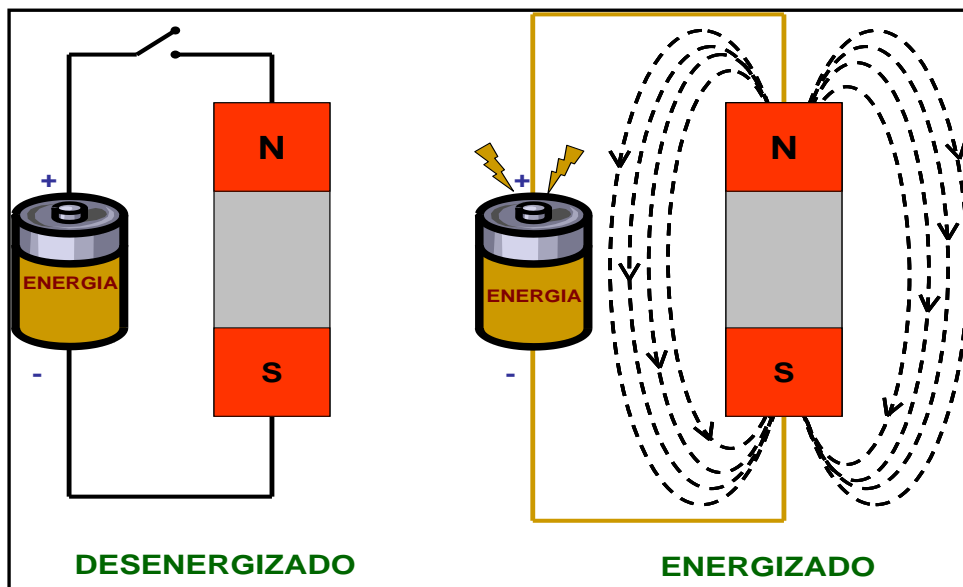


Figura 2.4 Comportamiento magnético de una bobina.

Bobina del Solenoide Energizada (ver figura 2.5):

- El campo magnético se crea alrededor de la bobina.
- La base es atraída al centro del campo magnético.

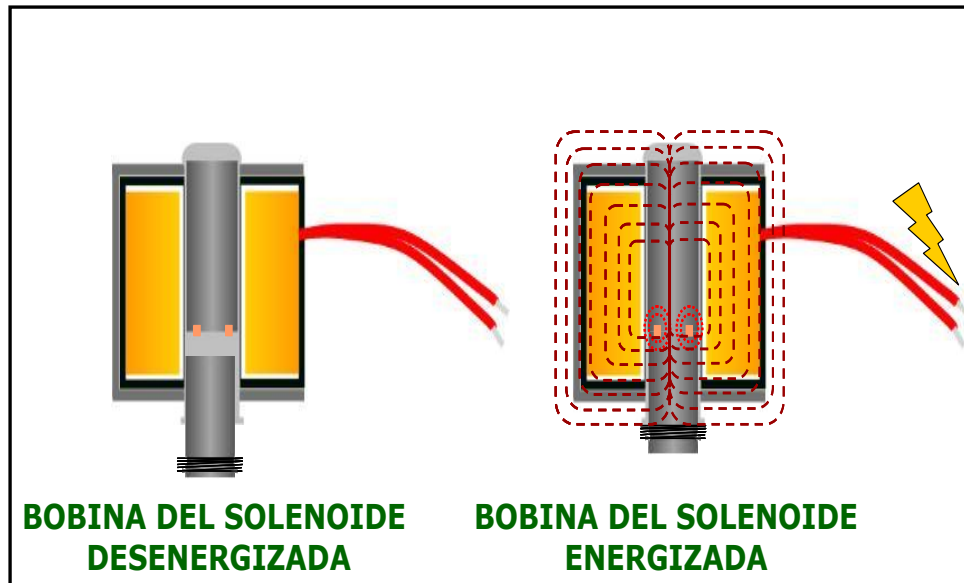


Figura 2.5 Bobina del solenoide desenergizada y bobina del solenoide energizada.

Tipo de Voltaje:

- Corriente Alterna: La magnitud y la dirección varían cíclicamente. Se mide en volts/hertz (ver figura 2.6):
- Corriente Directa: La magnitud y la dirección permanecen constantes. Se mide en volts.

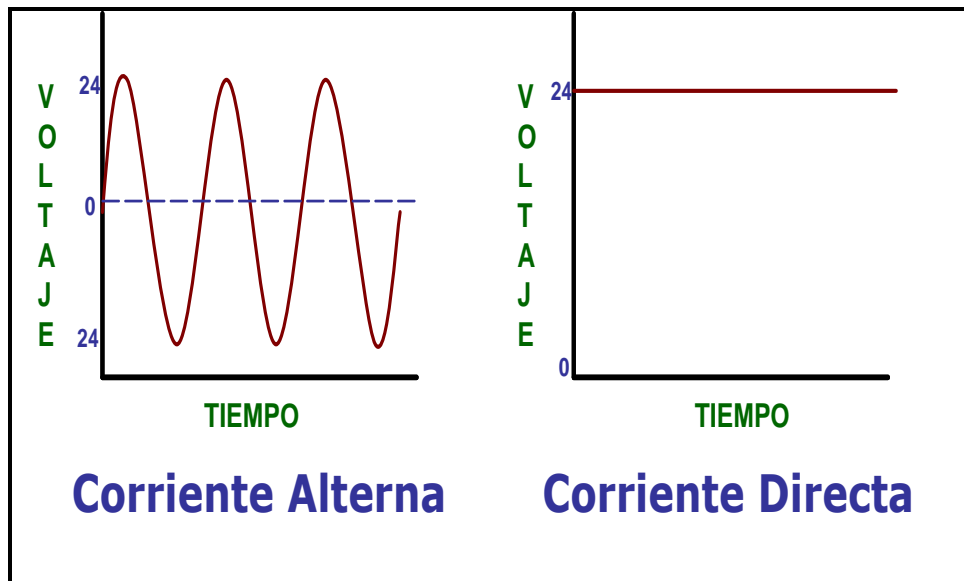


Figura 2.6 Corriente alterna y corriente directa.

Construcción para Corriente Alterna y Corriente Directa:

La Construcción para Corriente Alterna permite a la Bobina manejar presiones más altas que para la Corriente Directa.

Los rangos de funcionamiento del voltaje se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Rangos de funcionamiento del voltaje.

| Corriente Alterna (V)    |                            | Corriente Directa (V)    |                            |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Rango Nominal de Voltaje | Rango Nominal de Operación | Rango Nominal de Voltaje | Rango Nominal de Operación |
| 24                       | 20 – 24                    | 6                        | 5.1 – 6.3                  |
| 120                      | 102 – 120                  | 12                       | 10.2 – 12.6                |
| –                        | –                          | 24                       | 20 – 25                    |
| 240                      | 204 – 240                  | 120                      | 102 – 126                  |
| 480                      | 408 – 480                  | 240                      | 204 – 252                  |

El voltaje estándar se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Voltaje estándar.

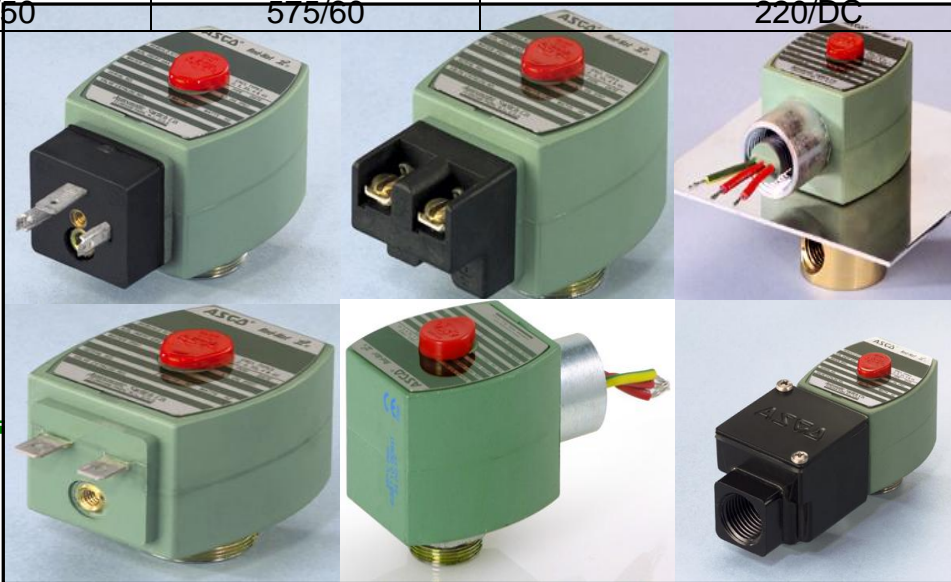
| Voltaje Estándar        |                |                       |        |
|-------------------------|----------------|-----------------------|--------|
| Corriente Alterna (V/H) |                | Corriente Directa (V) |        |
| 24/60                   | 220/50         | 6/DC                  | 240/DC |
| 120/60                  | 240/60         | 12/DC                 | 250/DC |
| 120/60, 110/50          | 240/60, 220/50 | 24/DC                 |        |
| 115/50                  | 480/60         | 120/DC                |        |
| 208/60                  | 480/60, 440/50 | 125/DC                |        |

El voltaje no estándar se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Voltaje no estándar.

| Voltaje No Estándar     |        |                       |
|-------------------------|--------|-----------------------|
| Corriente Alterna (V/H) |        | Corriente Directa (V) |
| 12/60                   | 220/60 | 28/DC                 |
| 24/50                   | 200/50 | 32/DC                 |
| 48/60                   | 277/60 | 38/DC                 |
| 100/50                  | 240/50 | 48/DC                 |
| 100/60                  | 440/60 | 53/DC                 |
| 120/40                  | 380/50 | 100/DC                |
| 110/60                  | 550/60 | 110/DC                |
| 127/50                  | 575/60 | 220/DC                |

Las conexiones muestran en la figura 2.7.



opciones de conexión se muestran en la figura 2.7.

---

Figura 2.7 Opciones de conexión.

Clasificación por NEMA (National Electrical Manufacturers Association) en base al tipo de protección:

- Propósito General: Primer modelo de Bobina (ver figura 2.8).



Figura 2.8 Bobina de propósito general.

- Hermético: Segundo modelo de Bobina. Resistente a la corrosión (ver figura 2.9).



Figura 2.9 Bobina hermética.

- A Prueba de Explosión: Tercer modelo de Bobina. Fusible eléctrico colocado en la conexión de la Bobina, el cual controla la máxima temperatura de la superficie de la Bobina, en caso de que esta se queme (ver figura 2.10).



Figura 2.10 Bobina a prueba de explosión.

La figura 2.11 muestra la bobina clase F.



Figura 2.11 Bobina clase F.

La figura 2.12 muestra la bobina clase H.



Figura 2.12 Bobina clase H.

La tabla 2.4 muestra la temperatura permitida.

Tabla 2.4 Temperatura permitida.

| Watts | Temperatura en °F aprobada por UL para Bobinas Clase F | Límite Máximo de Temperatura en °F Bobinas Clase F | Temperatura en °F aprobada por UL para Bobinas Clase H | Límite Máximo de Temperatura en °F Bobinas Clase H | Límite Máximo de Temperatura aprobada por UL en Bobinas a Prueba de Explosión |
|-------|--|--|--|--|---|
| 6.0   | -  | -  | 125  | 125  | -   |
| 6.1   | 125  | 245  | 140  | 284  | 140   |
| 6.3   | 135  | 135  | -  | -  | 104   |
| 6.5   | 104  | 104  | -  | -  | -   |

|      |     |     |     |     |     |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 6.9  | 77  | 77  | -   | -   | 104 |
| 8.1  | 125 | 245 | 140 | 284 | 140 |
| 9.1  | 125 | 173 | -   | -   | -   |
| 9.2  | -   | -   | 125 | 125 | -   |
| 10.0 | 140 | 140 | -   | -   | -   |
| 10.1 | 125 | 245 | 140 | 284 | 140 |
| 10.6 | 125 | 125 | 140 | 140 | -   |
| 11.2 | 140 | 140 | -   | -   | -   |
| 10.6 | 125 | 125 | -   | -   | 104 |
| 11.6 | 104 | 104 | -   | -   | 104 |
| 12.0 | 131 | 131 | -   | -   | 104 |
| 12.1 | -   | 125 | -   | -   | -   |
| 13.8 | -   | 125 | -   | 140 | -   |
| 14.9 | 77  | 77  | 104 | 104 | -   |
| 15.4 | 77  | 171 | 104 | 213 | 104 |
| 16.1 | -   | -   | 140 | 284 | 140 |
| 16.7 | 104 | 104 | 104 | 104 | 104 |
| 17.1 | -   | 245 | -   | 212 | 140 |
| 20.0 | 77  | 125 | -   | -   | 104 |
| 20.1 | -   | 173 | -   | 212 | 140 |
| 22.6 | 104 | 104 | -   | -   | -   |
| 24.6 | -   | -   | 104 | 104 | 104 |
| 28.0 | -   | -   | -   | -   | 104 |
| 28.2 | 125 | 125 | -   | -   | -   |
| 30.6 | -   | -   | 77  | -   | 104 |

## 2.2.2 Operación strip & dip.

Por sus siglas en inglés, la operación strip & dip significa remover y sumergir. Al hablar de remover, nos referimos a eliminar el barniz que trae el alambre de magneto como aislante, el cual es un producto transparente constituido por una o varias resinas, un disolvente y aditivos eventuales. Al secar queda una película dura y resistente, incolora o coloreada que al aplicarse sobre una superficie la protege [14]. El termino sumergir se refiere al baño posterior que recibe el alambre de magneto en el crisol con soldadura compuesta por 97.5% de Plomo, 1.5% de Plata y 1% de Estaño.

La operación strip & dip es requerida para todas las bobinas de Red Hat I y Red Hat II con algún componente electrónico como circuito integrado, diodos o fusible.

La operación strip estándar para bobinas sin terminales consiste en:

- 
1. Ajustar la perilla según sea necesario, lo cual se observa en la figura 2.13.



Figura 2.13 Perilla de ajuste.

2. Deslizar el alambre de magneto de la bobina entre las lijas de tambores en una misma dirección, de uno por uno, lo cual podemos apreciar en la figura 2.14.



Figura 2.14 Lijas de tambores.

3. Asegurar que se haya eliminado el barniz del alambre de magneto. De ser necesario hay que repetir el paso 2.

La operación strip estándar para bobinas con terminales consta de:

1. Ajustar la perilla según sea necesario, lo cual se observa en la figura 2.13.
2. Ajustar la base para lograr que las terminales de la bobina queden a la altura adecuada como se muestra en la figura 2.15.



---

Figura 2.15 Base de bobina.

3. Deslizar las terminales con alambre entre las lijas de los tambores en un solo sentido, lo cual se observa en la figura 2.16.



Figura 2.16 Deslizar las terminales en un solo sentido.

4. Asegurar que se haya eliminado el barniz por lo menos en la parte superior e inferior de las terminales de la bobina. De no ser así, repetir el paso 3.

La operación strip manual para todas las bobinas consiste en sujetar la bobina y deslizar cuidadosamente la lija 500 ó 600 sobre el alambre de magneto hasta que el recubrimiento haya sido removido. Esto se aprecia en la figura 2.17.



Figura 2.17 Sujetar la bobina y remover el recubrimiento.

La operación dip manual para todas las bobinas consta de:

- 
1. Enrollar el alambre de magneto sin recubrimiento alrededor de la terminación de los cables. Aplicar de 8 a 10 vueltas y cortar el exceso de alambre de magneto como se muestra en la figura 2.18.

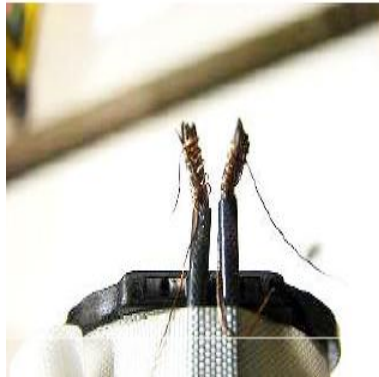


Figura 2.18 Enrollar el alambre de magneto sin recubrimiento.

2. Aplicar Flux a los hilos de los cables y sumergir en el crisol con soldadura, lo cual se observa en la figura 2.19.



Figura 2.19 Sumergir en el crisol con soldadura.

3. Aplicar Joyamide a la unión de soldadura y a cualquier porción de alambre sin recubrimiento. Esto se aprecia en la figura 2.20.



Figura 2.20 Aplicar Joyamide.

---

4. Remover el exceso de Joyamide y separar la terminación de los cables.

### **2.2.3 Procesos y equipos para unir.**

Algunos productos se hacen solo con un componente, sin embargo aún los productos relativamente sencillos consisten en al menos dos piezas distintas unidas por medio de varios métodos.

Aunque pueden existir distintas formas de clasificar la amplia variedad de procesos de unión disponibles, la Sociedad Americana de Soldadura (AWS) los clasifica como se indica en la figura [6] 2.13.

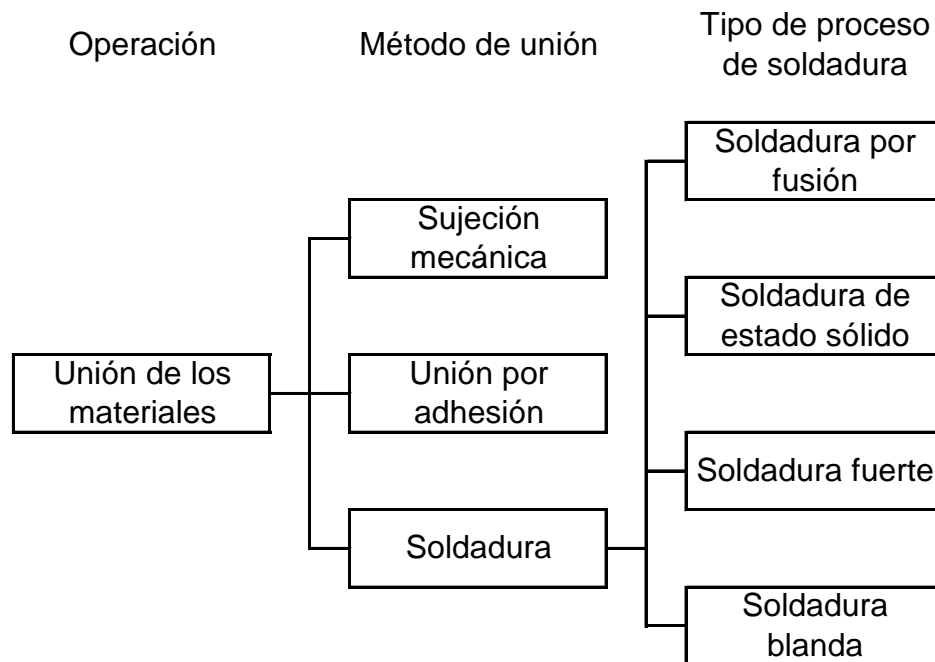


Figura 2.21 Diagrama de métodos de unión.

### 2.2.3.1 Definición.

La sujeción mecánica implica métodos tradicionales que usan diversos sujetadores, tornillos, tuercas y remaches.

La adhesión se ha vuelto tecnología de importancia por sus diversas ventajas; tiene aplicaciones únicas que requieren resistencia, hermeticidad, aislamiento, amortiguamiento de vibraciones y resistencia a la corrosión entre metales distintos. Se incluyen en esta categoría los adhesivos conductores eléctricos para tecnologías de montaje superficial.

La soldadura es un proceso de unión de materiales en el cual se funden las superficies de contacto de dos (o más) partes mediante la aplicación conveniente de calor o presión. La integración de las partes que se unen mediante soldadura se denomina un ensamble soldado.

Muchos procesos de soldadura se obtienen solamente por calor, sin aplicar presión; otros mediante una combinación de calor y presión; y unos más únicamente por presión, sin aportar calor externo. En algunos casos se agrega un material de aporte o relleno para facilitar la fusión. La soldadura se asocia por lo regular con partes metálicas, pero el proceso se usa también para unir plásticos.

La soldadura es un proceso relativamente nuevo. Su importancia comercial y tecnológica se deriva de lo siguiente:

- La soldadura proporciona una unión permanente. Las partes soldadas se vuelven una sola unidad.
- La unión soldada puede ser más fuerte que los materiales originales, si se usa un metal de relleno que tenga propiedades de resistencia superiores a la de los materiales originales y se emplean las técnicas de soldadura adecuadas.

- 
- En general, la soldadura es la forma más económica de unir componentes, en términos de uso de materiales y costos de fabricación. Los métodos mecánicos alternativos de ensamble requieren alteraciones más complejas de las formas (por ejemplo, taladro de orificios) y adición de sujetadores (remaches o tuercas). El ensamble mecánico resultante por lo general es más pesado que la soldadura correspondiente.
  - La soldadura no se limita al ambiente de fábrica. Puede realizarse en el campo [7].

Aunque la soldadura tiene las ventajas indicadas, también tiene ciertas limitaciones y desventajas (o desventajas potenciales):

- La mayoría de las operaciones de soldadura se realizan en forma manual y son elevadas en términos de costo de mano de obra. Muchas operaciones de soldadura se consideran cuestiones especializadas y no son muchas las personas que las realizan.
- Casi todos los procesos de soldadura implican el uso de mucha energía, y por consiguiente son peligrosos.
- Dado que la soldadura obtiene una unión permanente entre los componentes, no permite un desensamble adecuado. Si se requiere un desensamble ocasional de producto (para reparación o mantenimiento), no debe usarse la soldadura como método de ensamble.
- La unión soldada puede padecer ciertos defectos de calidad que son difíciles de detectar. Los defectos pueden reducir la resistencia de la unión.

### **2.2.3.2 Orígenes de la soldadura.**

Aunque la soldadura se considera un proceso relativamente nuevo de acuerdo a como se practica actualmente, sus orígenes se remontan a épocas antiguas. Alrededor del año 1000 a. C., los egipcios y otros pueblos en el área oriental del Mediterráneo aprendieron a obtener la soldadura por forja. Como una extensión natural de la forja térmica, la usaron para fabricar armas, herramientas y otros implementos. Los arqueólogos han recuperado artículos de bronce soldados por forja de las pirámides de Egipto. Desde estos comienzos hasta la Edad Media, el comercio de soldadura por forja llevó el arte de la soldadura por martilleo a un alto nivel de madurez. En India y Europa se han encontrado objetos soldados de hierro y otros metales que datan de esos tiempos.

No fue sino hasta el siglo XIX que se establecieron las bases tecnológicas de la soldadura moderna. Durante este periodo se hicieron dos descubrimientos importantes, ambos atribuidos al científico inglés sir Humphrey Davy: 1) el arco eléctrico y 2) el gas acetileno.

Alrededor de 1801, Davy observó que podía generarse un arco eléctrico entre dos electrodos de carbono. Sin embargo, fue hasta mediados del siglo XIX, cuando se inventó el generador eléctrico, que hubo la corriente eléctrica suficiente para sostener una soldadura con arco eléctrico. Fue el ruso Nikolai Benardos, preparando un laboratorio en Francia, quien concedió una serie de patentes para el proceso de soldadura con electrodo de carbono (una en Inglaterra en 1885 y otra en Estados Unidos en 1887). Al terminar el siglo pasado, la soldadura con electrodo de carbono se había convertido en un proceso comercial muy difundido para unir metales.

Los inventos de Benardos parecen haberse limitado a la soldadura con electrodo de carbono. En 1892, un estadounidense llamado Charles Coffin obtuvo una patente en Estados Unidos para desarrollar un proceso de soldadura con arco eléctrico, utilizando un electrodo de metal.

---

La característica singular fue que el electrodo agregó un relleno de metal a la unión soldada (el proceso de soldadura con arco eléctrico de carbono no deposita un material de aporte). Después se desarrolló la idea de recubrir el electrodo de metal (para proteger el proceso de soldadura de la atmósfera), y desde 1900 se hicieron mejoramientos al proceso de soldadura con arco eléctrico metálico en Inglaterra y Suecia.

Entre 1885 y 1900, E. Thompson descubrió varias formas de soldadura por resistencia. Estas incluyen la soldadura de puntos y la soldadura engargolada, dos métodos de unión que en la actualidad se usan mucho en el procesamiento de láminas de metal.

Aunque Davy descubrió el gas de acetileno al principio del siglo XIX, la soldadura con oxígeno y gas combustible requirió el invento posterior de sopletes para combinar el acetileno y el oxígeno, alrededor de 1900. Durante la década que inició en 1890, se mezclaron el hidrógeno y el gas natural con el oxígeno para soldadura, pero la flama obtenida con el oxiacetileno obtuvo temperaturas significativamente más altas.

Estos tres procesos de soldadura -la soldadura con arco eléctrico, la soldadura por resistencia y la soldadura con oxígeno y gas combustible- constituyen por mucho la mayoría de las operaciones de soldadura que se ejecutan actualmente [8].

### **2.2.3.3 Tipos de procesos de soldadura.**

Los procesos de soldadura se dividen en cuatro grupos principales: 1) soldadura por fusión; 2) soldadura de estado sólido; 3) soldadura fuerte y 4) soldadura blanda.

Soldadura por fusión. Los procesos de soldadura por fusión usan calor para fundir los metales base. En muchas operaciones de soldadura por fusión, se añade un metal de aporte a la combinación fundida para facilitar el proceso y aportar volumen y resistencia a la unión soldada. Una operación de soldadura por fusión en la cual no se añade un metal de aporte se denomina soldadura autógena. La categoría por fusión comprende los procesos de soldadura de uso más amplio e incluye los siguientes grupos generales:

- Soldadura con arco eléctrico, SAE (en inglés AW). La soldadura con arco eléctrico hace referencia a un grupo de procesos de soldadura en los cuales el calentamiento de los metales se obtiene mediante un arco eléctrico, como se muestra en la figura 2.14. Algunas de las operaciones de soldadura con arco eléctrico también aplican presión durante el proceso, y la mayoría utiliza un metal de aporte.
- Soldadura por resistencia, SR (en inglés RW). La soldadura por resistencia obtiene la fusión usando el calor de una resistencia eléctrica para el flujo de una corriente que pasa entre las superficies de contacto de dos partes sostenidas juntas bajo presión.
- Soldadura con oxígeno y gas combustible, SOGC (en inglés OFW). Estos procesos de unión usan un gas de oxígeno combustible, tal como una mezcla de oxígeno y acetileno, con el propósito de producir una flama caliente para fundir la base metálica y el metal de aporte, en caso de que se utilice.
- Otros procesos de soldadura por fusión. Además de los tipos anteriores, hay otros procesos de soldadura que producen la fusión de los metales unidos. Los ejemplos incluyen la soldadura con haz de electrones y la soldadura con rayo láser.

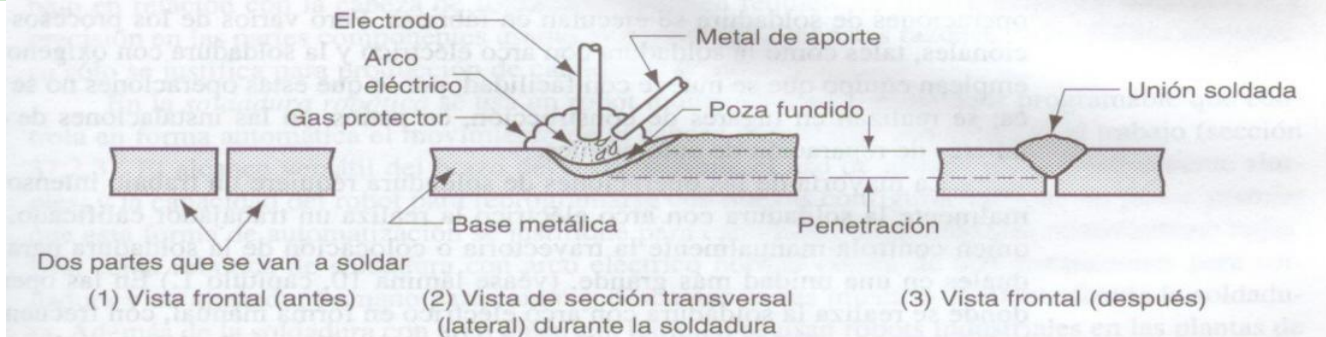


Figura 2.22 Fundamentos de la soldadura con arco eléctrico: (1) antes de la soldadura; (2) durante la soldadura, se funde la base metálica y se agrega el material de aporte al conjunto fundido y (3) la soldadura terminada.

**Soldadura de estado sólido.** La soldadura de estado sólido se refiere a los procesos de unión en los cuales la fusión proviene de la aplicación de presión solamente o una combinación de calor y presión. Si se usa calor, la temperatura del proceso está por debajo del punto de fusión de los metales que se van a soldar. No se utiliza un metal de aporte en los procesos de estado sólido. Algunos procesos representativos de soldadura de este tipo incluyen los siguientes:

- Soldadura por difusión, SD (en inglés DFW). En la soldadura por difusión, se colocan juntas dos superficies bajo presión a una temperatura elevada y se produce la coalescencia de las partes por medio de fusión de estado sólido.
- Soldadura por fricción, SF (en inglés FRW). En este proceso, la coalescencia se obtiene mediante el calor de la fricción entre dos superficies.
- Soldadura ultrasónica, SU (en inglés USW). La soldadura ultrasónica se realiza aplicando una presión moderada entre las dos partes y un movimiento oscilatorio a frecuencias ultrasónicas en una dirección paralela a las superficies de contacto. La combinación de las fuerzas normales y vibratorias produce intensas tensiones que remueven las películas superficiales y obtienen la unión atómica de las superficies.

**Soldadura fuerte.** La soldadura fuerte es un proceso de unión en el cual se funde un metal de aporte y se distribuye mediante acción capilar entre las superficies empalmantes de las partes metálicas que se van a unir. En este tipo de soldadura no ocurre la fusión de los metales base; sólo se derrite el material de aporte. En el proceso, el metal de aporte, también llamado el metal para soldadura fuerte, tiene una temperatura de fusión (líquida) superior a 840 °F (450 °C) pero menor que el punto de fusión (sólido) de los metales que se van a unir. En la soldadura fuerte se usan varios métodos denominados procesos para soldadura fuerte, y la diferencia entre ellos es su fuente de calentamiento.

- Soldadura fuerte con soplete. En la soldadura fuerte con soplete se aplica un fundente a las superficies de las partes y se usa un soplete para dirigir una flama contra el trabajo en la vecindad de la unión. Normalmente se usa una flama reducida para inhibir la oxidación. Después de que las áreas para unión de la parte de trabajo se calientan a una temperatura adecuada, se agrega metal de aporte a la unión, generalmente en forma de alambre o varilla.
- Soldadura fuerte en horno. La soldadura fuerte en horno usa un horno para proporcionar calor a la soldadura fuerte y es más conveniente para la producción media y alta. En la producción alta, por lo general en lotes, se cargan las partes componentes y el metal para

---

soldadura fuerte en el horno, estas se calientan a temperaturas para soldadura y después se enfrían y retiran. Las operaciones de producción alta usan hornos de transporte, en los cuales se colocan las partes en una banda transportadora y son conducidas a las diferentes secciones de calentamiento y enfriamiento.

- Soldadura fuerte por inducción. La soldadura fuerte por inducción utiliza calor de una resistencia eléctrica para una corriente de alta frecuencia inducida en el trabajo. Las partes se cargan previamente con metal de aporte y se colocan en un campo de corriente alterna (ac) de alta frecuencia; las partes no hacen contacto directamente con el rollo de inducción. Las frecuencias varían de 5 kHz a 5 MHz.

- Soldadura fuerte por resistencia. En la soldadura fuerte por resistencia, el calor para fundir el metal de aporte se obtiene mediante la resistencia al flujo de corriente eléctrica a través de las partes. A diferencia de la soldadura fuerte por inducción, las partes se conectan directamente al circuito eléctrico en la soldadura fuerte por resistencia.

- Soldadura fuerte por inmersión. En la soldadura fuerte por inmersión, el calentamiento se consigue mediante un baño salino fundido o un baño metálico fundido. En ambos métodos, las partes ensambladas se sumergen en los baños dentro de un recipiente de calentamiento. La solidificación ocurre cuando las partes se remueven del baño. En el método de baño de sal, la mezcla fundida contiene ingredientes fundentes, y el metal de aporte se carga previamente en el ensamble. En el método de baño metálico, el metal de aporte fundido es el medio de calentamiento; se atrae hacia la unión mediante acción capilar durante la inmersión. Se mantiene una cubierta de fundente sobre la superficie del baño metálico fundido.

- Soldadura fuerte infrarroja. La soldadura fuerte infrarroja usa el calor de una lámpara infrarroja de alta intensidad. Algunas lámparas para soldadura fuerte infrarroja son capaces de generar hasta 5000 W de energía calorífica radiante, la cual se dirige a las partes de trabajo.

- Soldadura fuerte por fusión. Este proceso difiere de los otros procesos de soldadura fuerte en el tipo de unión a la que se aplica. Como se aprecia en la figura 2.15, la soldadura fuerte por fusión se usa para llenar una unión soldada por fusión más convencional, tal como la unión en V que se muestra. Se deposita una mayor cantidad de metal de aporte que en la soldadura fuerte y no ocurre acción capilar. En la soldadura fuerte por fusión, la unión consiste enteramente en metal de aporte; el metal base no se funde y por tanto no se derrite dentro de la unión, como en el proceso de soldadura por fusión convencional. La aplicación principal de la soldadura fuerte por fusión es el trabajo de reparación.

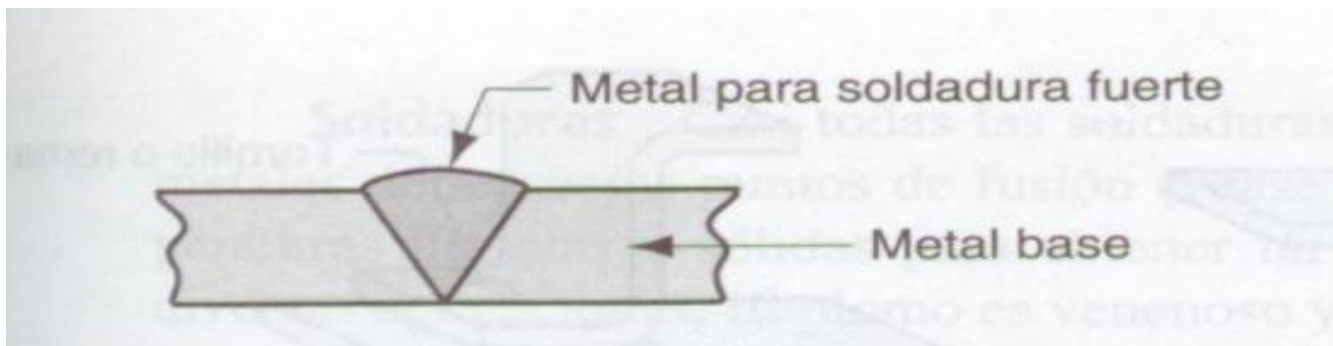


Figura 2.23 Soldadura fuerte por fusión.

---

Soldadura blanda. La soldadura blanda es similar a la soldadura fuerte y se define como un proceso de unión en el cual se funde un metal de aporte con un punto de fusión (líquido) que no excede a los 480 °F (450 °C), y se distribuye mediante acción capilar entre las superficies empalmantes de los metales que se van a unir. Igual que la soldadura fuerte, no ocurre fusión de los metales base, pero el metal de aporte se humedece y combina con el metal base para formar una unión metalúrgica. Los detalles de la soldadura blanda son similares a los de la soldadura fuerte y muchos de los métodos de calentamiento son iguales. Las superficies que se van a soldar deben limpiarse con anticipación para que estén libres de óxidos, grasas, etc. Debe aplicarse un fundente apropiado a las superficies empalmantes y calentarse. Se añade a la unión un metal de aporte, denominado soldadura (soldante), y se distribuye entre las partes que se ajustan estrechamente. Muchos de los métodos usados en la soldadura blanda son iguales a los que se emplean en la soldadura fuerte, excepto que se requieren temperaturas más bajas para la primera. Estos métodos incluyen la soldadura blanda con soplete, en horno, por inducción, por resistencia, por inmersión e infrarroja. Otros métodos de soldadura blanda, que no se emplean en la soldadura fuerte y que se describirán aquí son la soldadura manual, la soldadura en olas y la soldadura por reflujo.

- Soldadura blanda manual. La soldadura blanda manual se ejecuta en forma manual usando hierro caliente para soldadura blanda. Un punto, hecho de cobre, es el extremo de trabajo de un hierro para soldadura blanda. Sus funciones son: 1) aportar calor a las partes que se sueldan; 2) fundir la soldadura, 3) aportar soldadura fundida a la unión y 4) retirar el exceso de soldadura. Casi todos los hierros para soldadura modernos se calientan mediante resistencia eléctrica. Algunos están diseñados como pistolas para soldadura de calentamiento rápido, los cuales son populares en el ensamble electrónico para operación intermitente (encendido-apagado). Son capaces de hacer una unión de soldadura blanda en un segundo.

- Soldadura blanda en olas. La soldadura blanda en olas es una técnica mecanizada que permite que se suelden múltiples alambres de plomo en un tablero de circuitos impresos, TCI (en inglés printed circuit board, PCB), conforme pasa una ola de soldadura blanda fundida. La distribución común es en la que se carga un PCB, en donde los componentes electrónicos se han colocado con sus alambres de plomo que sobresalen por los orificios del tablero, sobre un transportador que lo conduce a través del equipo para soldadura blanda en olas. El transportador sujeta el tablero de circuitos impresos por los lados, de manera que la parte inferior quede expuesta a los siguientes pasos del procesamiento: 1) se aplica fundente usando alguno de los diferentes métodos, incluyendo la aplicación con espuma, por aspersión o por cepillado; 2) se usa un precalentamiento (mediante tubos de luz, rollos de calentamiento y dispositivos infrarrojos) con el fin de evaporar solventes, activar el fundente y elevar la temperatura del ensamble y 3) se usa la soldadura blanda en olas para bombear soldante líquido desde un baño fundido, a través de una ranura en la parte inferior del tablero, para hacer las conexiones de soldadura entre los alambres de plomo y el circuito metálico en el tablero. Este tercer paso se ilustra en la figura 2.16. Con frecuencia el tablero se inclina ligeramente y se mezcla un aceite estañante especial con el soldante fundido para disminuir su tensión de superficie, como se aprecia en el diagrama. Estas dos medidas ayudan a controlar la acumulación de excesos de soldadura y la formación de carámbanos en la parte inferior del tablero. La soldadura blanda en olas se aplica extensamente en la electrónica para producir ensambles de tableros con circuitos impresos.

---

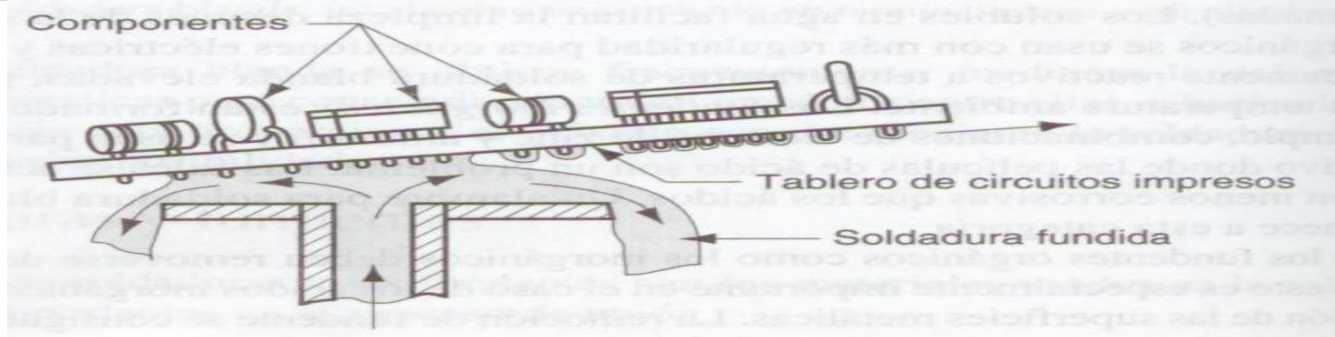


Figura 2.24 Soldadura blanda en olas, en la cual se aplica soldante fundido a través de un orificio estrecho sobre la parte inferior de un tablero de circuitos impresos para conectar los alambres de plomo componentes.

- Soldadura blanda por reflujo. Este proceso también se usa extensamente en electrónica para ensamblar componentes montados en superficies de tableros de circuitos impresos. En el proceso, una pasta para soldadura, que consiste en polvos de soldadura en un aglutinante solvente, se aplica a puntos en el tablero donde se van a hacer contactos eléctricos entre los componentes montados en la superficie y el circuito de cobre. Después, los componentes se colocan en los puntos de la pasta y el tablero se calienta para fundir el soldante, formando uniones mecánicas y eléctricas entre las puntas de los componentes y el cobre en el tablero de circuitos. Los métodos de calentamiento para la soldadura blanda por reflujo incluyen el reflujo de fase de vapor y el reflujo infrarrojo. En la soldadura blanda con reflujo de fase de vapor, un hidrocarburo líquido inerte fluorinado se vaporiza en un horno mediante calentamiento y después se condensa en la superficie del tablero, en donde transfiere su calor de vaporización para fundir la pasta para soldadura y formar uniones soldadas en los tableros de circuitos impresos. En la soldadura blanda infrarroja por reflujo se usa el calor de una lámpara infrarroja para fundir la pasta de soldante y formar uniones entre las puntas de los componentes y las áreas de circuitos en el tablero. Los métodos de calentamiento adicionales para refundir la pasta de soldante incluyen el uso de placas calientes, aire caliente y láseres.

#### 2.2.3.4 La unión por soldadura.

La soldadura produce una conexión sólida entre dos partes, denominada unión por soldadura. Esta unión por soldadura es el contacto de los bordes o superficies de las partes que se han unido mediante soldadura.

Hay cinco tipos básicos de uniones para integrar dos partes de una junta. De acuerdo con la figura 2.17 se definen del modo siguiente:

- (a) Unión empalmada. En este tipo de unión, las partes se encuentran en el mismo plano y se unen en sus bordes.
- (b) Unión de esquina. Las partes en una unión de esquina forman un ángulo recto y se unen en la esquina del ángulo.
- (c) Unión superpuesta. Esta unión consiste en dos partes que se sobreponen.
- (d) Unión en T. En la unión en T, una parte es perpendicular a la otra en una forma parecida a la letra T.
- (e) Unión de bordes. Las partes en una unión de bordes están paralelas con al menos uno de sus bordes en común y la unión se hace en el borde común.

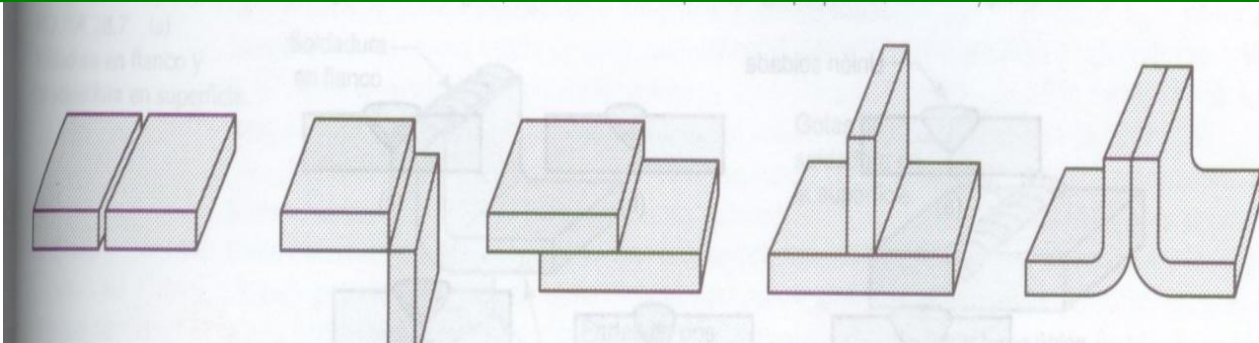


Figura 2.25 Cinco tipos básicos de uniones: (a) empalmada, (b) de esquina, (c) superpuesta, (d) en T y (e) de bordes.

### 2.2.3.5 Tipos de soldaduras.

Todas las uniones anteriores se hacen mediante soldadura. También es posible usar otros procesos para algunos de los tipos de uniones, pero la soldadura es el método de mayor aplicación. Es conveniente distinguir entre el tipo de unión y el modo en que se suelda el tipo de soldadura. Las diferencias entre los tipos de soldadura están en la geometría (el tipo de unión) y el proceso de soldadura.

Se usa una soldadura de filete para rellenar los bordes de las placas creadas mediante uniones de esquina, sobrepuestas y en T, igual que en la figura 2.18. Se usa un metal de relleno para proporcionar una sección transversal de aproximadamente la forma de un triángulo. Es el tipo de soldadura más común en la soldadura con arco eléctrico y en la de oxígeno y gas combustible porque requiere una mínima preparación de los bordes; se usan los bordes cuadrados básicos de las partes. Las soldaduras de filete pueden ser sencillas o dobles (esto es, soldarse en uno o ambos lados) y continuas o intermitentes (esto es, soldadas a lo largo de toda la longitud de la unión o con espacio sin soldar a lo largo de una orilla).

Las soldaduras con surco o ranura generalmente requieren que se moldeen las orillas de las partes en un surco para facilitar la penetración de la soldadura. Las formas con surco incluyen un cuadrado, un bisel, la V, la U y la J, en lados sencillos o dobles, como se muestra en la figura 2.19. Se usa material de relleno para saturar la unión, por lo general mediante soldadura con arco eléctrico o con oxígeno y combustible. Con frecuencia se preparan los bordes de las partes más allá de un cuadrado básico, aunque se requiera de un procedimiento adicional, para aumentar la firmeza de la unión soldada o donde se van a soldar partes más gruesas. Aunque se asocia más estrechamente con una unión empalmada, la soldadura con surco se usa en todos los tipos de uniones, excepto en la sobrepuesta.

Las soldaduras con insertos y las soldaduras ranuradas se usan para unir placas planas, como se muestran en la figura 2.20 usando uno o más huecos o ranuras en la parte superior, que después se rellenan con metal para fundir las dos partes.

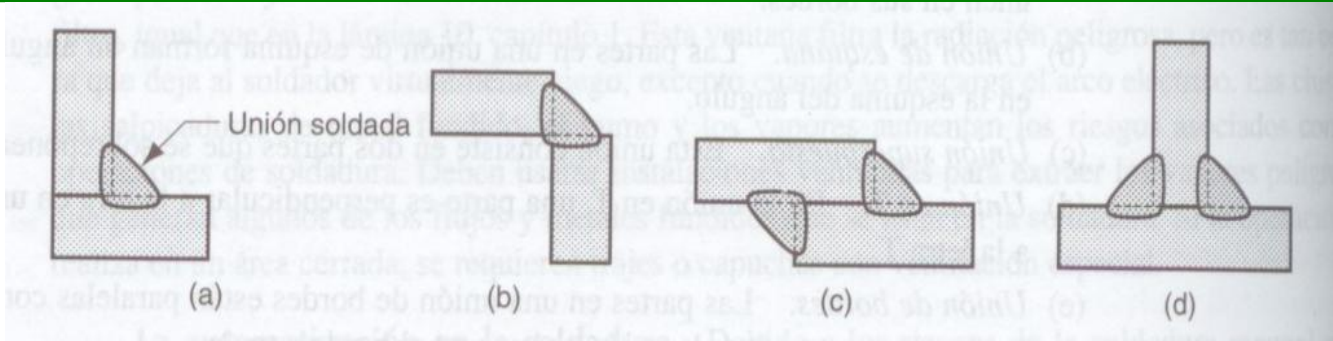


Figura 2.26 Diversas formas de soldaduras de filete: (a) unión de esquina con filete interno único; (b) unión de esquina con filete externo único; (c) unión sobrepuesta con filete doble y (d) unión en T con filete doble.

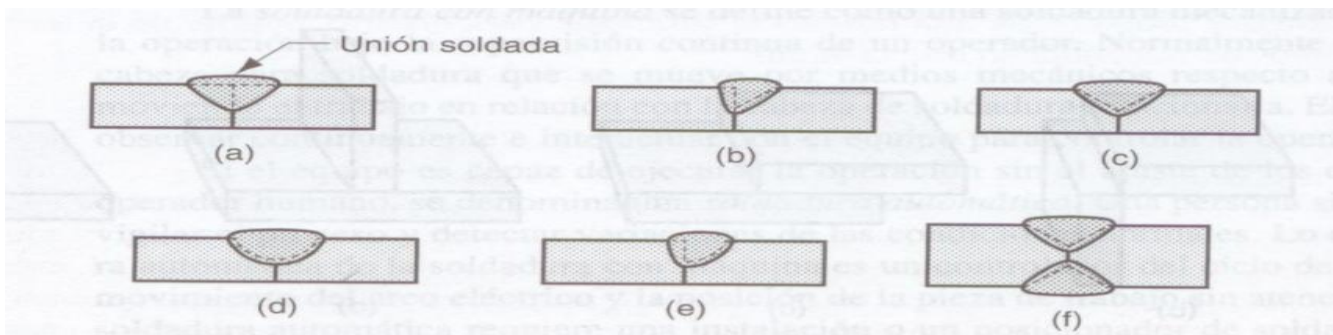


Figura 2.27 Algunas soldaduras con surco típicas: (a) soldadura con surco cuadrada, un lado; (b) soldadura con surco en bisel único; (c) soldadura con surco en V único; (d) soldadura con surco en U único; (e) soldadura con surco en J único; (f) soldadura con surco en V doble para secciones más gruesas.

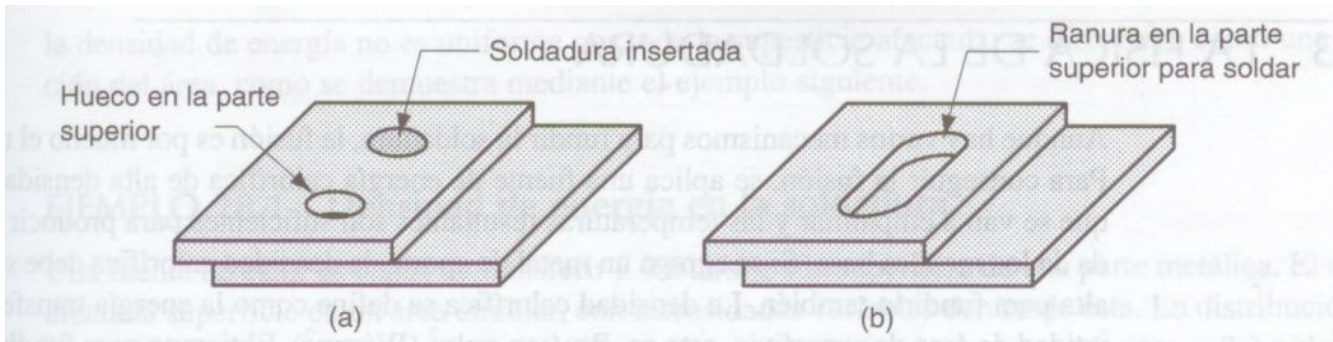


Figura 2.28 (a) Soldadura con inserto y (b) soldadura en ranura.

La soldadura de puntos y la soldadura engargolada, usadas para uniones sobrepuestas, se muestran en la figura 2.21. Una soldadura de puntos es una pequeña sección fundida entre las superficies de dos chapas o placas. Normalmente se requieren varias soldaduras de puntos para unir las partes. Se asocia más estrechamente con la soldadura por resistencia. Una soldadura engargolada es similar a una de puntos, excepto que consiste en una sección fundida más o menos continua entre las dos chapas o placas.

La figura 2.22 muestra soldaduras en flancos y soldaduras en superficies. Una soldadura en flanco se hace en los bordes de dos (o más) partes, por lo general láminas metálicas o placas delgadas, en donde al menos una de las partes está en un flanco, como se aprecia en la parte (a). Una soldadura en superficie no se usa para unir partes, sino para depositar metal de relleno sobre la superficie de una parte base en una o más gotas de soldadura. Las gotas de soldadura se incorporan en una serie de pasadas paralelas sobrepuestas, con lo que se

cubren grandes áreas de la parte base. El propósito es aumentar el grosor de la placa o proporcionar un recubrimiento protector sobre la superficie.

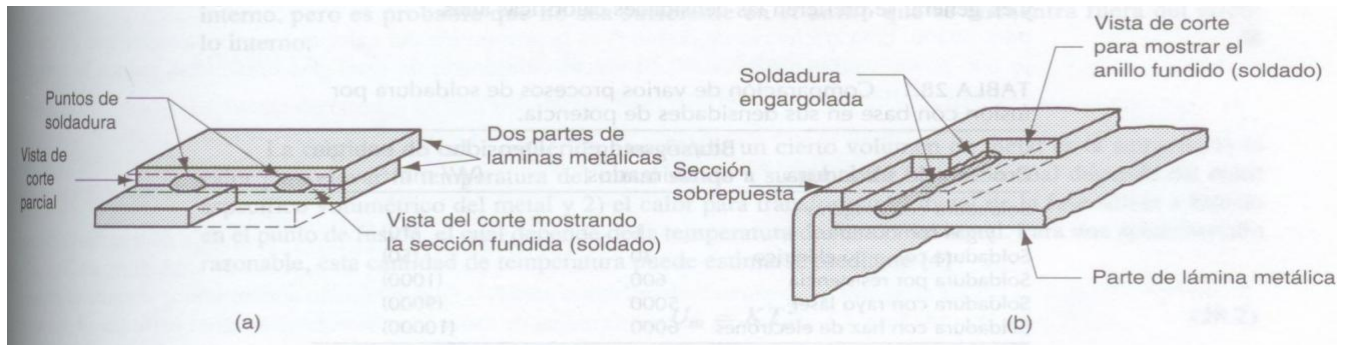


Figura 2.29 (a) Soldadura de puntos y (b) soldadura engargolada.

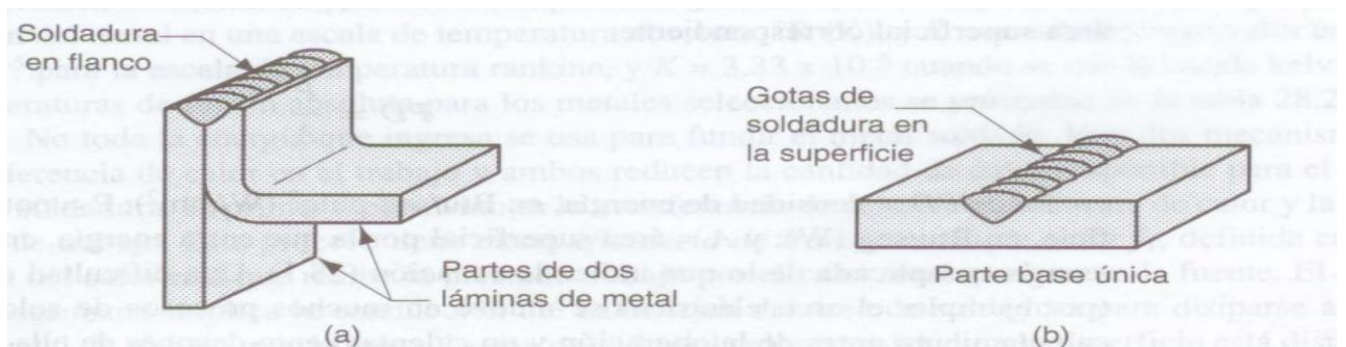


Figura 2.30 (a) Soldadura en flanco y (b) soldadura en superficie.

### 2.2.3.6 Calidad de la soldadura.

El propósito de cualquier proceso de soldadura es unir dos o más componentes en una sola estructura. Por tanto, la integridad física de la estructura formada depende de la calidad de la soldadura.

Aparte de las tensiones residuales y la distorsión en el ensamble final, pueden ocurrir otros defectos en la soldadura. Enseguida se proporciona una breve descripción de cada una de las categorías importantes, basada en una clasificación de Cary [3].

**Cuarteadoras.** Las cuarteadoras son interrupciones tipo fractura en la soldadura misma o en el metal base adyacente a la soldadura. Este tipo es tal vez el defecto de soldadura más serio, debido a que constituye una discontinuidad en el metal, que produce una importante reducción en la resistencia de la soldadura. Se definen varias formas en la figura 2.23. La figura 2.24 presenta una fotomicrografía que muestra grietas en una soldadura de acero. Las grietas en la soldadura se originan porque la soldadura o el metal base o ambos son frágiles o tienen baja ductilidad, combinadas con una alta limitación durante la contracción. En general, este defecto debe repararse.

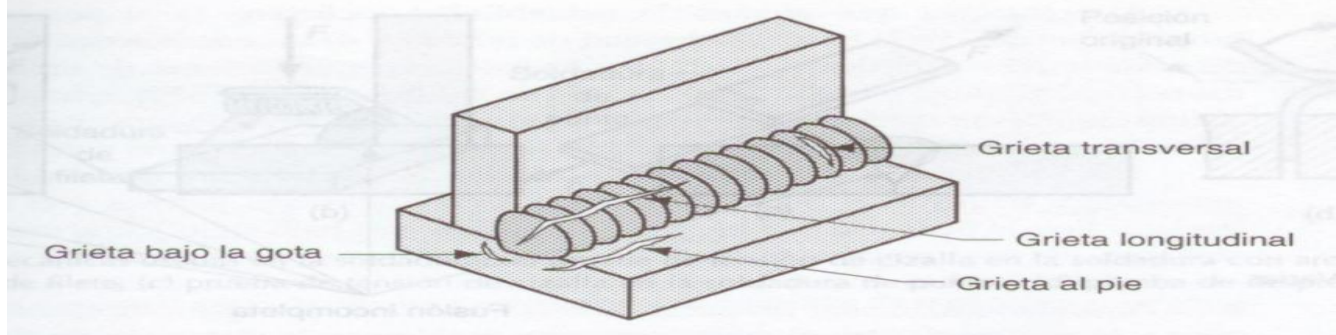


Figura 2.31 Diferentes formas de cuarteaduras en una soldadura.

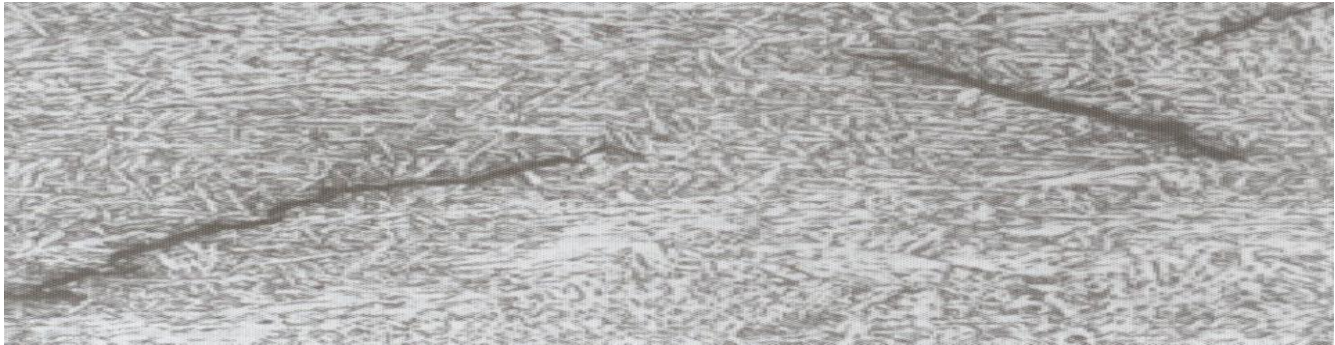


Figura 2.32 Microcuarteaduras en una gota de soldadura de metal producida mediante arco eléctrico con electrodo consumible.

**Cavidades.** Estas incluyen diversos defectos de porosidad y contracción. La porosidad consiste en pequeños defectos en el metal de la soldadura, formados por gases atrapados durante la solidificación. Los defectos pueden tener forma esférica (huecos en forma de burbuja) o alargada (huecos en forma de gusano). Por lo general la porosidad es resultado de la inclusión de gases atmosféricos, así como de sulfuro en el metal de soldadura o de contaminantes en la superficie. Los defectos de contracción son cavidades formadas por el encogimiento durante la solidificación. Estos dos tipos de defectos tipo cavidad son semejantes a los defectos que se encuentran en la fundición y ponen de manifiesto la estrecha similitud entre ésta y la soldadura.

**Inclusiones sólidas.** Las inclusiones sólidas son materiales sólidos no metálicos atrapados en el metal de la soldadura. La forma más común son las inclusiones de escoria generadas durante los diferentes procesos de soldadura con arco eléctrico que usan fundente. En lugar de flotar en la parte superior del pozo de soldadura, los glóbulos de escoria quedan atrapados durante la solidificación del metal. Otra forma de inclusión son los óxidos metálicos que se forman durante la soldadura de ciertos metales como el aluminio, los cuales normalmente tienen un recubrimiento superficial de  $Al_2O_3$ .

**Fusión incompleta.** Varias formas de este defecto se ilustran en la figura 2.25. Un defecto conocido como carencia de fusión es simplemente una gota de soldadura en la cual no ocurre la fusión a través de toda la sección transversal de la unión. Un defecto relacionado pero diferente es la carencia de penetración. El término penetración hace referencia a la profundidad que alcanza la soldadura dentro del metal base de la unión. Una carencia de

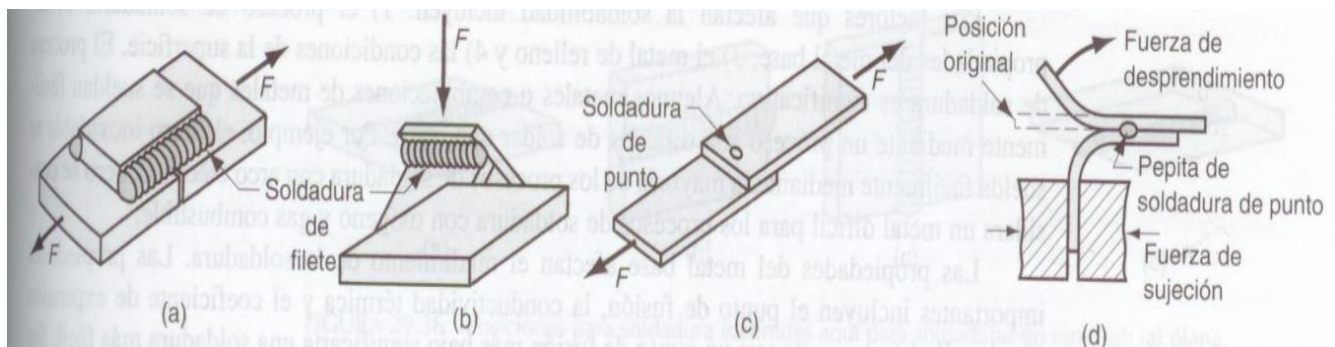


Inspección visual. Sin duda la inspección visual es el método de verificación de soldadura más difundido. La realiza visualmente un inspector que busca en la soldadura: 1) el apego a las especificaciones de tamaño en el dibujo de la parte; 2) deformaciones y 3) grietas, cavidades, fusión incompleta y otros defectos descritos en la sección anterior. El supervisor también determina si se requieren pruebas adicionales, por lo general en la categoría no destructiva. La limitación de la inspección visual es que solo se detectan los defectos superficiales; los defectos internos no pueden descubrirse mediante métodos visuales.

Evaluación no destructiva. El grupo de inspección no destructiva incluye diversos métodos de inspección que no dañan la parte que se evalúa. Las pruebas de líquidos penetrantes de contraste y líquidos penetrantes fluorescentes son métodos para detectar pequeños defectos tales como cuarteadoras y cavidades abiertas en la superficie. Los líquidos penetrantes fluorescentes son muy visibles cuando se exponen a la luz ultravioleta. Por tanto su uso es una técnica más sensible que los líquidos de contraste.

La prueba de las partículas magnéticas esta limitada a los materiales ferromagnéticos. Se establece un campo magnético en la parte y se dispersan partículas magnéticas (por ejemplo, limadura de hierro) sobre la superficie. Los defectos bajo la superficie tales como grietas e inclusiones aparecen por la distorsión del campo magnético, lo que provoca que las partículas se concentren en ciertas regiones de la superficie. La prueba ultrasónica implica el uso de ondas sónicas de alta frecuencia (de más de 20 kHz) dirigidas a través de la parte. Las discontinuidades (por ejemplo, las cuarteadoras, las inclusiones y la porosidad) se detectan mediante pérdidas en la transmisión del sonido. La prueba radiográfica usa rayos x o radiación gamma para detectar defectos internos en el metal de la soldadura. Este ensayo proporciona un registro con película fotográfica de los defectos presentados.

Pruebas destructivas. En estos métodos se destruye la soldadura durante la prueba o al preparar la parte de prueba. Incluyen pruebas mecánicas y metalúrgicas. Las pruebas mecánicas tienen el mismo propósito que los métodos de prueba convencionales, tales como pruebas de tensión y pruebas de cizalla. La diferencia es que la parte de prueba es una unión soldada. La figura 2.27 presenta una muestra de las pruebas mecánicas utilizadas en la soldadura. Las pruebas metalúrgicas implican la preparación de partes metalúrgicas (por ejemplo, fotomicrografías como las de la figura 2.24) de la soldadura, para examinar características como la estructura metálica, defectos, alcance y condición de la zona afectada por el calor, la presencia de otros elementos y fenómenos similares.



---

Figura 2.35 Pruebas mecánicas usadas en la soldadura: (a) prueba de tensión de cizalla en la soldadura con arco eléctrico, (b) prueba de rompimiento de filete, (c) prueba de tensión de cizalla en la soldadura de punto y (d) prueba de desprendimiento para soldadura de puntos.

### 2.2.3.8 Soldabilidad.

La soldabilidad se define como la capacidad de un metal o combinación de metales para soldarse en una estructura diseñada de modo conveniente a fin de que la(s) unión(es) soldada(s) posea(n) las propiedades metalúrgicas requeridas y lleven a cabo satisfactoriamente el servicio pretendido. La buena soldabilidad se caracteriza por la facilidad con que se obtiene el proceso de soldadura, la ausencia de defectos en el proceso y con resistencia, ductilidad y dureza aceptables en la unión soldada.

Los factores que afectan la soldabilidad incluyen: 1) el proceso de soldadura; 2) las propiedades del metal base; 3) el metal de relleno y 4) las condiciones de la superficie. El proceso de soldadura es significativo. Algunos metales o combinaciones de metales que se sueldan fácilmente mediante un proceso son difíciles de soldar con otros.

Las propiedades del metal base afectan el rendimiento de la soldadura. Las propiedades importantes incluyen el punto de fusión, la conductividad térmica y el coeficiente de expansión térmica. Podría pensarse que un punto de fusión más bajo significaría una soldadura más fácil. Sin embargo, algunos metales se funden con demasiada facilidad para una buena soldadura. Los metales con alta conductividad térmica tienden a transferir calor lejos de la zona de soldadura, lo cual los hace difíciles de soldar. La alta expansión térmica y la contracción en el metal provocan problemas de distorsión en el ensamble soldado.

Los metales distintos poseen problemas especiales en la soldadura cuando sus propiedades físicas o mecánicas o ambas son muy diferentes. Las diferencias en la temperatura de fusión representan un problema obvio. Las diferencias en la resistencia o el coeficiente de expansión térmica pueden provocar altas tensiones residuales que conducen a grietas. Si se usa un metal de aporte, este debe ser compatible con el (los) metal (es) base. En general, los elementos mezclados en el estado líquido que forman una solución sólida tras la solidificación no provocarán problemas. Los metales en la unión soldada se vuelven quebradizos si se exceden los límites de solubilidad.

Las condiciones de las superficies de los metales base pueden afectar adversamente la operación. Por ejemplo, la humedad puede provocar porosidad en la zona de fusión. Los óxidos y otras películas sólidas en las superficies metálicas evitan un contacto adecuado e impiden la fusión.

Consideraciones de diseño en la soldadura:

Si se va a soldar permanentemente un ensamble, el diseñador debe recordar ciertas pautas. Algunos de los principios y consideraciones importantes cuando se diseña un producto soldado se presentan en la siguiente lista [1], [3]:

- Diseño para la soldadura. La recomendación básica es que el producto debe diseñarse desde el principio como un ensamble soldado y no como una fundición, forja u otra parte formada.
- Partes mínimas. Los ensambles soldados deben consistir en la menor cantidad de partes posibles.

Las pautas siguientes se aplican a la soldadura con arco eléctrico:

- Es importante que las partes que se van a soldar se ajusten bien, para mantener el control de las dimensiones y reducir la distorsión. En ocasiones se requiere aplicar un maquinado para obtener un ajuste satisfactorio.
- El ensamble debe proporcionar espacio de acceso, con el fin de permitir que la pistola para soldadura alcance el área de trabajo.
- Cuando sea posible, el diseño del ensamble debe permitir que se realice una soldadura plana, dado que esta es la posición de trabajo más conveniente y rápida. Las posiciones para soldadura posibles se definen en la figura 2.28. La posición de cabeza abajo es la más difícil.

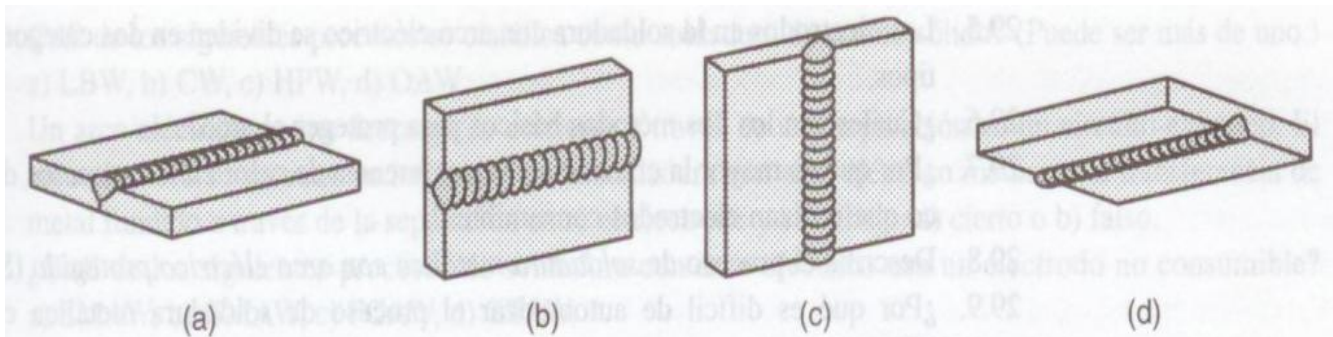


Figura 2.36 Posiciones para soldadura (definidas aquí para soldaduras en ranuras): (a) plana, (b) horizontal, (c) vertical y (d) sobre cabeza.

Las siguientes guías de diseño se aplican para la soldadura de puntos por resistencia:

- La lamina de acero de bajo carbono de hasta 0.125 pulg (3.25 mm) es el metal ideal para la soldadura de puntos por resistencia.
- La resistencia y rigidez adicionales en componentes de láminas metálicas planas se obtienen mediante: 1) partes de refuerzo de soldadura de puntos sobre ellas o 2) la formación de rebordes y relieves dentro de ellas.
- El ensamble soldado de puntos debe proporcionar acceso para que los electrodos alcancen el área de soldadura.
- Se requiere una suficiente superposición de las partes de láminas metálicas para que la punta del electrodo haga un contacto adecuado en la soldadura de puntos.

### 2.2.3.9 La soldadura como una operación comercial.

Las aplicaciones principales de la soldadura están en [12] 1) la construcción (por ejemplo, edificios y puentes); 2) la producción de tuberías, recipientes a presión, calderas y tanques de almacenamiento; 3) la construcción naval; 4) la industria de la aeronáutica y el espacio y 5) los automóviles y los ferrocarriles. La soldadura se realiza en diferentes instalaciones y en diversas industrias. Debido a su versatilidad como técnica de ensamble para productos comerciales, muchas operaciones de soldadura se ejecutan en fábricas. Pero varios de los procesos de soldadura tradicionales, tales como la soldadura con arco eléctrico y la soldadura con oxígeno y gas combustible, emplean equipo que se mueve con facilidad, por lo que estas operaciones no se limitan a una fábrica; se realizan en lugares de construcción, en patios, en las instalaciones de un cliente y en los talleres de reparación de automóviles.

La mayoría de las operaciones de soldadura requiere un trabajo intenso. Por ejemplo, normalmente la soldadura con arco eléctrico la realiza un trabajador calificado, llamado

---

soldador, quien controla manualmente la trayectoria o colocación de la soldadura para unir partes individuales en una unidad más grande. En las operaciones de fábrica donde se realiza la soldadura con arco eléctrico en forma manual, con frecuencia el soldador trabaja con un segundo trabajador, llamado ajustador. El trabajo del ajustador es ordenar los componentes individuales para el soldador antes de practicar la soldadura. Se usan sujetadores y posicionadores de soldadura para ayudar en esta función. Una instalación para soldadura es un dispositivo para asegurar y sostener los componentes en una posición fija para la soldadura. Como dicha instalación se fabrica sobre pedido para la geometría particular de la soldadura, debe tener una justificación económica con base en la cantidad de ensambles que se van a producir. Un posicionador de soldadura es un dispositivo que sostiene las partes y también mueve el ensamble a la posición deseada para soldar. La diferencia entre este dispositivo y una instalación de soldadura es que sostiene las partes en una sola posición fija. Por lo general, la posición deseada es aquella en la que la trayectoria de soldadura es plana y horizontal.

La cuestión de la seguridad. La soldadura es inherentemente peligrosa para las personas. Quienes ejecutan estas operaciones deben tomar medidas de seguridad. Las altas temperaturas de los metales fusionados en la soldadura son un peligro obvio. En la soldadura con gas, los combustibles (por ejemplo, el acetileno) corren el riesgo de incendiarse. Gran parte de los procesos usan mucha energía para producir la fusión de las superficies de las partes que se van a unir. En muchos procesos de soldadura, la corriente eléctrica es una fuente de energía térmica, por lo que existe el riesgo de una descarga eléctrica para el trabajador. Ciertos procesos de soldadura tienen sus propios peligros particulares. Por ejemplo, en la soldadura con arco eléctrico, se emite radiación ultravioleta, la cual es peligrosa para los ojos. El soldador debe usar una careta especial que incluye una ventana oscura con un filtro. Esta ventana filtra la radiación peligrosa, pero es tan oscura que deja al soldador virtualmente ciego, excepto cuando se descarga el arco eléctrico. Las chispas, las salpicaduras de metal fundido, el humo y los vapores aumentan los riesgos asociados con las operaciones de soldadura. Deben utilizarse instalaciones ventiladas para extraer los vapores peligrosos que generan algunos de los flujos y metales fundidos que se usan en la soldadura. Si la operación se realiza en un área cerrada, se requieren trajes o capuchas con ventilación especial.

La automatización en la soldadura. Debido a los riesgos de la soldadura manual y los esfuerzos de aumentar la productividad y mejorar la calidad de los productos, se han desarrollado diversas formas de mecanización y automatización. Las categorías incluyen la soldadura con máquina, la soldadura automática y la soldadura robótica.

La soldadura con máquina se define como una soldadura mecanizada con equipo que realiza la operación bajo la supervisión continua de un operador. Normalmente se obtiene mediante una cabeza para soldadura que se mueve por medios mecánicos respecto al trabajo estacionario o moviendo el trabajo en relación con la cabeza de soldadura estacionaria. El trabajador humano debe observar continuamente e interactuar con el equipo para controlar la operación.

Si el equipo es capaz de ejecutar la operación sin el ajuste de los controles por parte de un operador humano, se denomina una soldadura automática. Una persona siempre esta

---

presente para vigilar el proceso y detectar variaciones de las condiciones normales. Lo que distingue la soldadura automática de la soldadura con máquina es un controlador del ciclo de soldadura, que regula el movimiento del arco eléctrico y la posición de la pieza de trabajo sin atención humana continua. La soldadura automática requiere una instalación o un posicionador de soldadura para colocar el trabajo en relación con la cabeza de soldadura. También requiere un mayor grado de consistencia y precisión en las partes componentes usadas en el proceso. Por estas razones, la soldadura automática solo se justifica para producción de cantidades grandes.

En la soldadura robótica se usa un robot industrial o un manipulador programable que controla en forma automática el movimiento de la cabeza para soldar con respecto al trabajo. El alcance versátil del brazo del robot permite el uso de instalaciones relativamente simples, y la capacidad del robot para reprogramarse con nuevas configuraciones de las partes permite que esta forma de automatización se justifique para cantidades de producción relativamente bajas. Una celda robótica de soldadura con arco eléctrico normal consta de dos instalaciones para soldadura y un ajustador humano para cargar y descargar partes mientras el robot efectúa la soldadura. Además de la soldadura con arco eléctrico, también se usan robots industriales en las plantas de ensamble final de automóviles para realizar soldadura por resistencia sobre carrocerías [9].

#### **2.2.4 Metodología Seis Sigma.**

Originalmente diseñada y utilizada por Motorola, el concepto Seis Sigma ha trascendido la empresa que le da origen, convirtiéndose en una nueva filosofía administrativa con amplia divulgación mundial, sobre la cual se ha desarrollado cantidad de elementos, más allá de los que sus creadores originales pensaron (concepto cinturón verde, negro, etc.). El Seis Sigma es un parámetro cuya base principal es la desviación estándar y su enfoque es reducir la variación y/o defectos en lo que hacemos [22].

El principal planteamiento lo podemos encontrar cuando consideramos la variación de un proceso, con una fluctuación entre más 6 sigma y menos 6 sigma del valor promedio, la probabilidad de que se salga del valor especificado es de 3.4 partes por millón.

Es una filosofía que busca obtener mejores resultados (productos, servicios), por medio de procesos robustos que permitan reducir los defectos y los errores. Se podría considerar como una metodología (lógica y/o disciplinada) de pasos, por medio de herramientas probadas para la solución de problemas [5].

El concepto Seis Sigma ayuda a conocer y comprender los procesos, de tal manera que puedan ser modificados al punto de reducir el desperdicio generado en ellos. Esto se verá reflejado en la reducción de los costos de hacer las cosas, a la vez que permite asegurar que el precio de los productos o servicios sean competitivos, no mediante la reducción de ganancias o reducción de los costos de hacer bien las cosas, sino de la eliminación de los costos asociados con los errores o desperdicios.

La filosofía Seis Sigma busca ofrecer mejores productos o servicios, de una manera cada vez más rápida y a más bajo costo, mediante la reducción de la variación de cualquiera de

---

nuestros procesos. Aunque a muchas personas les ha costado entender, una de las grandes enseñanzas del Dr. Deming fue buscar el control de variación de los procesos lo cual es medido por medio de la desviación estándar. Decía el Dr. Deming: “el enemigo de todo proceso es la variación, por lo que es ahí en donde debemos concentrar el esfuerzo hacia de la mejora continua”, pero sobre todo porque “la variación es el enemigo de la satisfacción de nuestros clientes” [17].

Han existido dos filosofías sobre la calidad, la primera de ellas la que llamaríamos la filosofía antigua, se basaba en cumplir con las especificaciones o requerimientos del cliente, un precursor de ello fue Crosby, con su teoría de que la “Calidad es gratis” y la nueva filosofía la cual predica que las pérdidas de calidad están basadas en la desviación de la meta u objetivo de acuerdo a los requerimientos o especificaciones. Esto quiere decir que cualquier producto o servicio desviado del centro o meta, no cumple la norma de calidad, sobre ésta última es que se basa el concepto de Seis Sigma.

En el proceso de introducción del Seis Sigma, uno de los conceptos que más se aplica, son una serie de pasos conocidos por sus siglas DMAIC, con lo cual se busca establecer la fuente u origen de la variación. La D, significa Definir, la M es Medir, la A es Analizar, la I corresponde a la palabra en inglés Improve, que equivale a Mejorar y la C es Controlar. Podríamos considerarlo como una modificación del Ciclo de Deming para la Mejora Continua de Planear, Hacer, Verificar y Actuar.

La Definición de un proyecto de mejora consiste en seleccionar aquel proceso cuya mejora tendrá el mayor impacto positivo en las características del producto que resulten críticas para la calidad, según las ha definido el cliente. Los proyectos de mejora siempre son abordados por grupos de trabajo, formados por personas experimentadas en el diseño, la producción y la relación con el cliente.

Lo que hace diferente a Seis Sigma de anteriores metodologías de mejora, es la obsesión permanente por medir y disponer de datos objetivos que permitan tomar decisiones. La Medida del proceso consiste en cuantificar exactamente la capacidad del mismo, esto es, determinar la fracción de errores que se cometen.

La etapa de Análisis aplica el pensamiento estadístico al proceso real, determinando cuáles son las diferentes causas que dan lugar a la variación observada. La utilización de Diagramas de Proceso y de Ishikawa, junto con técnicas estadísticas permite hacernos una idea clara de qué está sucediendo en el proceso.

La Mejora es aquella etapa en que el grupo de trabajo ha generado una serie de alternativas al proceso actual y se ve en la necesidad de tener que probarlas antes de su puesta en práctica. Para ello se dispone de herramientas de simulación y de diseño de experimentos, que permiten comprobar de antemano y antes de realizar cualquier inversión, que los cambios propuestos producen las mejoras esperadas en el producto final.

Pero ningún cambio debe llevarse a la práctica sin el debido Control, las técnicas de control estadístico aplicadas a las causas de la variabilidad aseguran la estabilidad del nuevo proceso, su centrado en los valores objetivo y la reducción de la variabilidad.

---

Cuando se utilizan los pasos arriba mencionados, es conveniente a efectos de facilitar su aplicación responder a cada una de las siguientes preguntas:

#### **2.2.4.1 Definir (D).**

- ¿Qué procesos existen en su área?
- ¿De cuáles actividades (procesos) es usted el responsable?
- ¿Quién o quiénes son los dueños de estos procesos?
- ¿Qué personas interactúan en el proceso, directa e indirectamente?
- ¿Quiénes podrían ser parte de un equipo para cambiar el proceso?
- ¿Tiene actualmente información del proceso?
- ¿Qué tipo de información tiene?
- ¿Qué procesos tienen mayor prioridad de mejorarse?
- ¿Cómo lo definió o llegó a esa conclusión?

#### **2.2.4.2 Medir (M).**

- ¿Sabe quiénes son sus clientes?
- ¿Conoce las necesidades de sus clientes?
- ¿Sabe qué es crítico para su cliente, derivado de su proceso?
- ¿Cómo se desarrolla el proceso?
- ¿Cuáles son los pasos?
- ¿Qué tipo de pasos compone el proceso?
- ¿Cuáles son los parámetros de medición del proceso y cómo se relacionan con las necesidades del cliente?
- ¿Por qué son esos los parámetros?
- ¿Cómo obtiene la información?
- ¿Qué tan exacto o preciso es su sistema de medición?

#### **2.2.4.3 Analizar (A).**

- ¿Cuáles son las especificaciones del cliente para sus parámetros de medición?
- ¿Cómo se desempeña el proceso actual con respecto a esos parámetros? Muestre los datos.
- ¿Cuáles son los objetivos de mejora del proceso?

- 
- ¿Cómo los definió?
  - ¿Cuáles son las posibles fuentes de variación del proceso? Muestre cuáles y qué son.
  - ¿Cuáles de esas fuentes de variación controla y cuáles no?
  - De las fuentes de variación que controla ¿Cómo las controla y cuál es el método para documentarlas?
  - ¿Monitorea las fuentes de variación que no controla?
  - ¿Cómo?

#### **2.2.4.4 Mejorar [Improve] (M).**

- ¿Las fuentes de variación dependen de un proveedor? Si es así,
- ¿Cuáles son?,
- ¿Quién es el proveedor? y
- ¿Qué está haciendo para monitorearlas y/o controlarlas?
- ¿Qué relación hay entre los parámetros de medición y las variables críticas?
- ¿Interactúan las variables críticas?
- ¿Cómo lo definió? Muestre los datos.
- ¿Qué ajustes a las variables son necesarios para optimizar el proceso?
- ¿Cómo los definió? Muestre los datos.

#### **2.2.4.5 Controlar (C).**

Para las variables ajustadas:

- ¿Qué tan exacto o preciso es su sistema de medición?
  - ¿Cómo lo definió? Muestre los datos.
  - ¿Qué tanto se ha mejorado el proceso después de los cambios?
  - ¿Cómo lo define? Muestre los datos.
  - ¿Cómo hace que los cambios se mantengan?
  - ¿Cómo monitorea los procesos?
  - ¿Cuánto tiempo o dinero ha ahorrado con los cambios?
  - ¿Cómo lo está documentando? Muestre los datos [19].
-

---

## CAPÍTULO 3

### DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA

#### 3.1 DEFINICIÓN/MEDICIÓN.

##### 3.1.1 Definición del Proyecto.

Desde que Ascotech, S.A. de C.V. inicio labores en Mexicali, B.C., su giro principal ha sido la manufactura y distribución de válvulas.

La gran mayoría de los componentes que requiere el ensamble de la válvula, son comprados a proveedores ubicados alrededor del mundo y la otra parte de los componentes son surtidos por empresas subsidiarias de ASCO.

En el caso de las bobinas, este componente fue proveído a Ascotech, S.A. de C.V. por Alcom (ubicada en Canadá) desde 1987 y se dio fin a ello en 2004, ya que el Corporativo decidió cerrar dicha empresa y transferir a Ascotech, S.A. de C.V. el proceso de manufactura de bobinas bajo los nombres de Red Hat I y Red Hat II, iniciando actividades en Julio de 2004.

En el área de Red Hat I y en el área de Red Hat II, se utiliza una barra Kester para el proceso de Termination Soldering, la cual esta compuesta por 97.5% de Plomo, 1.5% de Plata y 1% de Estaño. En Mayo de 2006, la empresa fue informada que Wassco (proveedor de la barra Kester) discontinuó la manufactura de la misma ya que la Unión Europea prohibió el uso del Plomo en la fabricación de productos, por considerarse dañino para el ser humano y el medio ambiente.

Ascotech, S.A. de C.V. permanentemente mide el desempeño de sus procesos con la finalidad de encontrar áreas de oportunidad para hacerlos más eficientes y mantener la satisfacción del cliente. Los principales métricos que son utilizados son el Diagrama de Pareto y la Gráfica de Control por Atributos.

Por el corto tiempo que la empresa tiene produciendo bobinas, aún puede considerarse novata en este proceso. Sin embargo, ya han sido detectados problemas que han disminuido el desempeño del proceso del producto, haciéndolo más costoso. La bobina número de parte 238210-032-D representa el 25% de la producción anual de la empresa y presenta los tipos de desecho que se muestran en la figura 3.1.

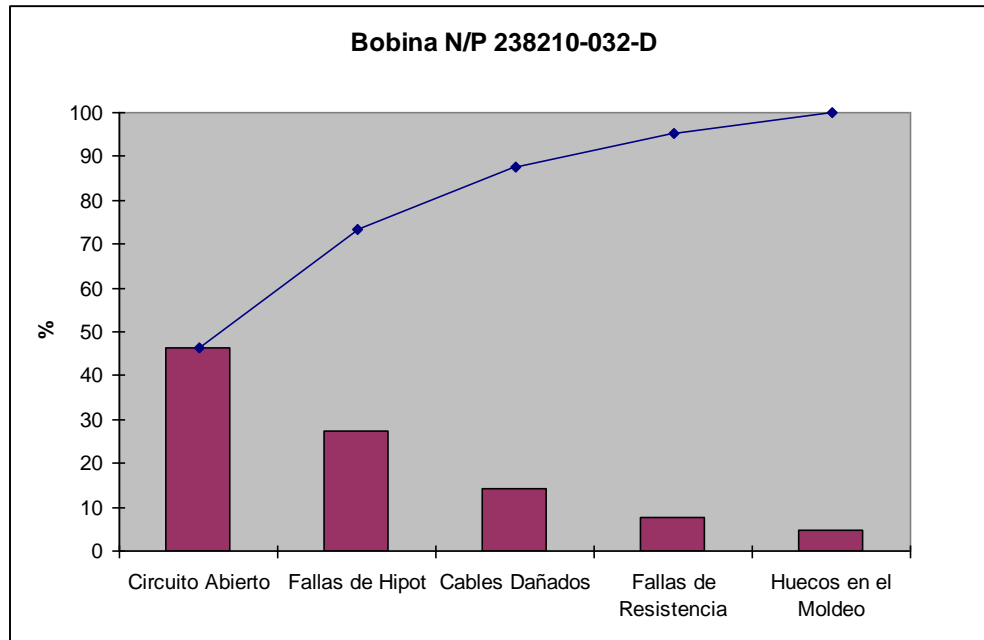


Figura 3.1 Diagrama de Pareto de los tipos de desecho.

Estos tipos de Desecho consisten en:

**Circuito Abierto:** La corriente no concluye el recorrido del embobinado en el carrete, debido a que en algún punto de la trayectoria la corriente se corta y se pierde la continuidad.

**Fallas de Hipot:** Fuga de corriente en el sistema hacia algún componente metálico de la bobina.

**Cables Dañados:** El inadecuado manejo de las bobinas ocasiona que los cables se corten o se machuquen.

**Fallas de Resistencia:** Están relacionadas con el alambre de magneto, depende del calibre y del número de vueltas que se de para que alcance la resistencia requerida.

**Huecos en el Moldeo:** Los principales factores que lo ocasionan son la baja temperatura en el molde, la baja temperatura en las pastillas de epóxico, la humedad y la falta de limpieza en el molde.

En base a las dos situaciones descritas previamente, se define el proyecto llamado "Evaluación de confiabilidad de la Soldadura por Resistencia contra la Operación Strip & Dip".

### 3.1.2 Métrico Primario.

El tipo de Desecho que ocupa el primer lugar en Inspección Final es el Circuito Abierto, ya que cuando la bobina esta moldeada, no se puede retrabajar. En esta etapa del proceso, la bobina tiene ensamblados el 100% de sus componentes y el costo unitario de la misma es de \$4.94 dólares, lo cual representa un alto costo para la empresa si es desechada.

Durante Enero, Febrero y Marzo de 2006 se tuvieron 6,900 PPM's en promedio por Desecho. En los 3 primeros meses del 2007, el Desecho de la bobina número de parte 238210-032-D alcanzo los 9,700 PPM's en promedio, siendo este un valor lejano comparado con la meta que se busca de 1,000 PPM's o 0.1%. La figura 3.2 muestra estos resultados, en la gráfica de Control de los PPM's de desecho para la bobina número de parte 238210-032-D o bien el Métrico Primario para el desarrollo de este proyecto.

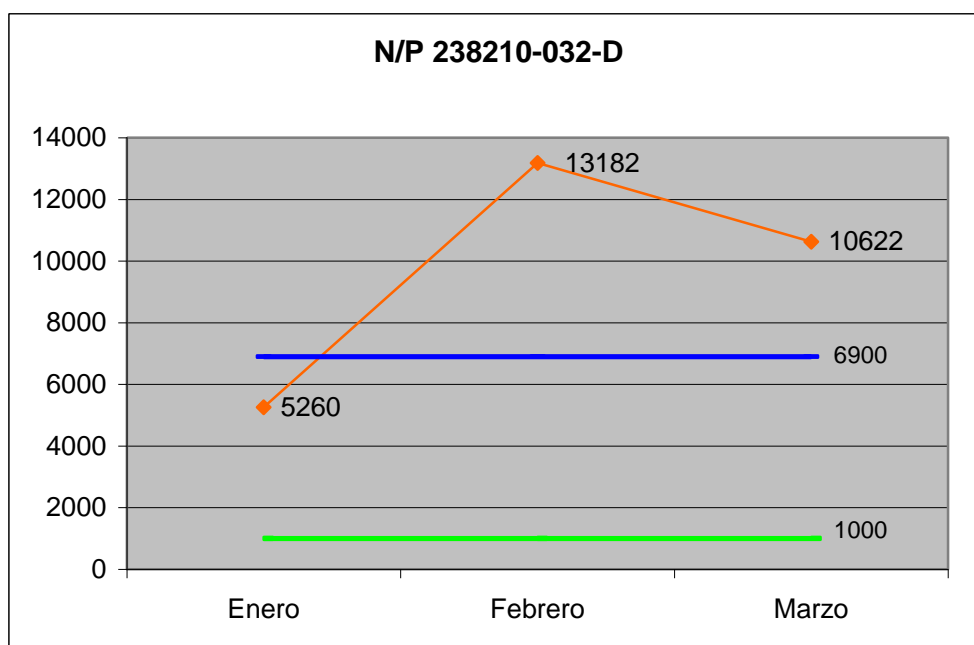


Figura 3.2 Gráfica de Control de los PPM's de desecho.

### 3.1.3 Métrico Secundario.

El tipo de Retrabajo que ocupa el primer lugar en Premoldeo es el Circuito Abierto. En esta etapa del proceso, la bobina se puede retrabajar ya que aún no tiene ensamblados el 100% de sus componentes, pero aún con el retrabajo algunas bobinas no logran mantener la continuidad y tienen que ser desechadas.

Durante Enero, Febrero y Marzo de 2006 se tuvieron 6,200 PPM's en promedio por Retrabajo y este valor se mantuvo igual durante los 3 primeros meses del 2007, siendo este un valor lejano comparado con la meta que se busca de 1,000 PPM's o 0.1%. La figura 3.3 muestra estos resultados, en la gráfica de Control de los PPM's de Retrabajo para la bobina número de parte 238210-032-D o bien el Métrico Secundario para el desarrollo de este proyecto.

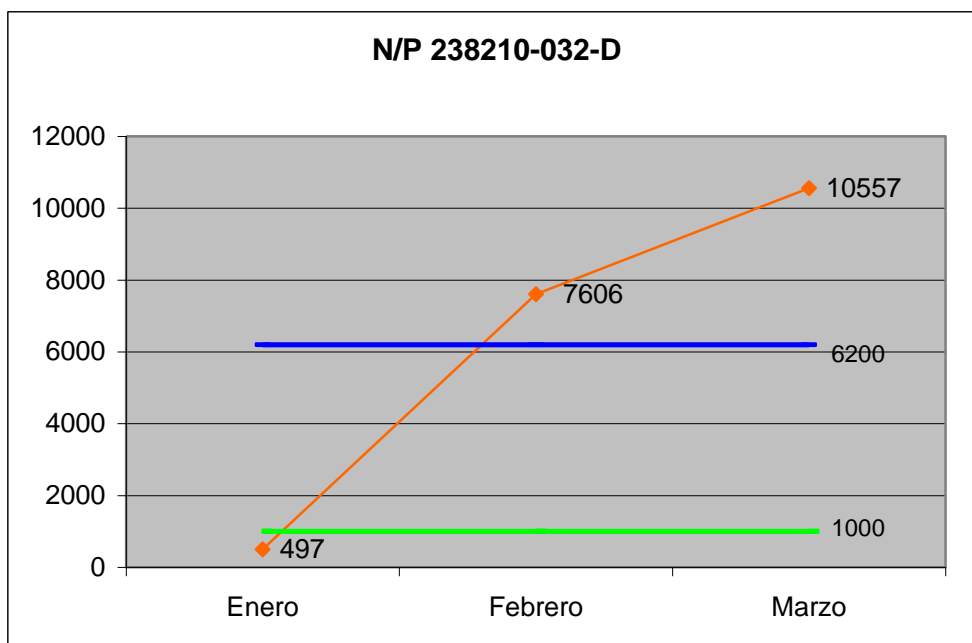


Figura 3.3 Gráfica de Control de los PPM's de retrabajo.

### 3.1.4 Mapa de Proceso.

El mapa de proceso es una representación escrita del proceso y el primer paso para identificar las variables críticas (X's) que producen la salida que se desea mejorar (Y). El mapa de proceso identifica todos los pasos del proceso, los puntos de recolección/inspección de datos y la evaluación de que tan adecuados son [11]. Este se clasifica en mapa de proceso actual y mapa de proceso propuesto. El mapa de proceso actual se muestra en la figura 3.4.

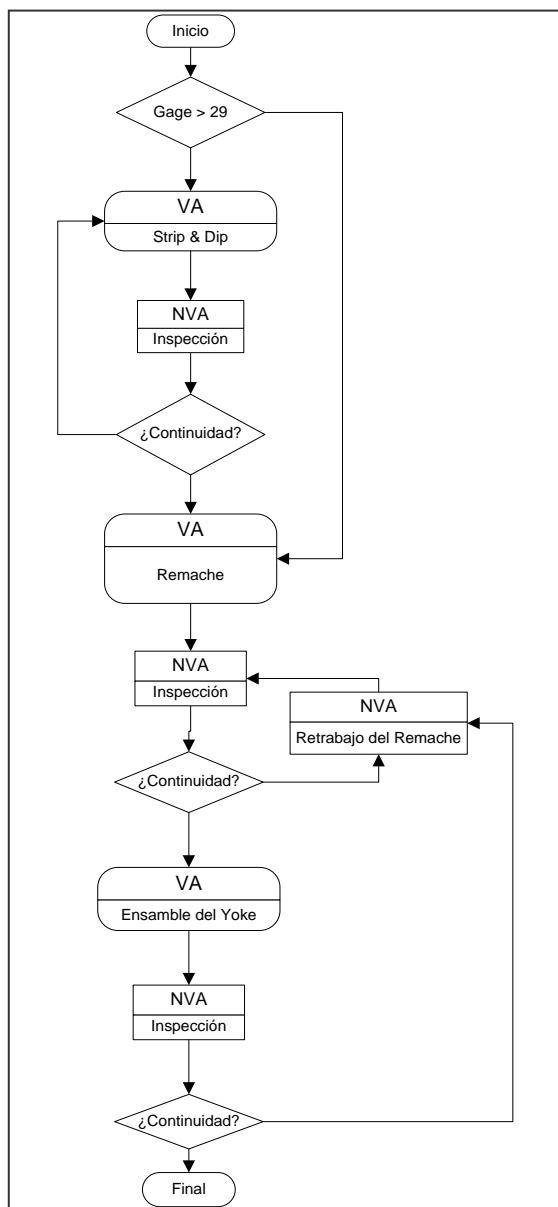


Figura 3.4 Mapa de proceso actual.

El mapa del proceso actual consta del inicio, de la comparación de que el calibre del alambre de magneto de la bobina sea mayor a 29 (el calibre de la bobina número de parte 238210-032-D es 34) y en caso de si serlo se pasa a la operación Strip & Dip, se inspecciona para

---

verificar que existe continuidad y en caso de haberla se continua con el remache, pero de no ser así se regresa a la operación de Strip & Dip y subsecuentes. En caso de que el calibre del alambre de magneto de la bobina tenga un calibre menor a 29, se pasa directamente a la operación de remache y subsecuentes. Después del remache se vuelve a inspeccionar para verificar que existe continuidad y en caso de haberla se continua con el ensamble del Yoke, pero de no ser así se retrabaja el remache y se continua con las operaciones subsecuentes. Después del ensamble del Yoke, se inspecciona para verificar que existe continuidad y en caso de haberla se finaliza el proceso, pero de no ser así se retrabaja el remache y se continua con las operaciones subsecuentes.

Una operación con valor agregado transforma el producto de forma que tiene sentido para el cliente. El cliente le encuentra valor a la operación y esta dispuesto a pagar por ello. Las operaciones del proceso actual que agregan valor al producto son: Strip & Dip, Remache y Ensamble del Yoke. Las operaciones del proceso actual que agregan valor se encuentran identificadas con VA en el mapa de proceso actual.

El concepto de no valor agregado puede ser visto de manera intercambiable con Desperdicio. Los Desperdicios se clasifican en 7 tipos: Corrección, Espera, Inventario, Movimiento Innecesario, Sobreprocesamiento, Sobreproducción y Transporte. Las operaciones del proceso actual que no agregan valor al producto son: la tres Inspecciones y el Retrabajo del Remache. Las operaciones del proceso actual que no agregan valor se encuentran identificadas con NVA en el mapa de proceso actual.

Con la finalidad de detectar la(s) operación(es) que muestran una alta relevancia en las causas que originan las no conformancias, se llevo a cabo un análisis de capacidad por atributos del proceso actual en base a la información de 3 órdenes de trabajo de la bobina número de parte 238210-032-D. Los resultados obtenidos dieron un promedio de 33,333 PPM's de Circuito Abierto en Premoldeo y 12,500 PPM's en Moldeo, haciendo un total de 45,833 PPM's.

En base a la definición del proyecto descrita previamente y a dicho análisis de capacidad se hace el mapa de proceso propuesto, el cual se muestra en la figura 3.5.

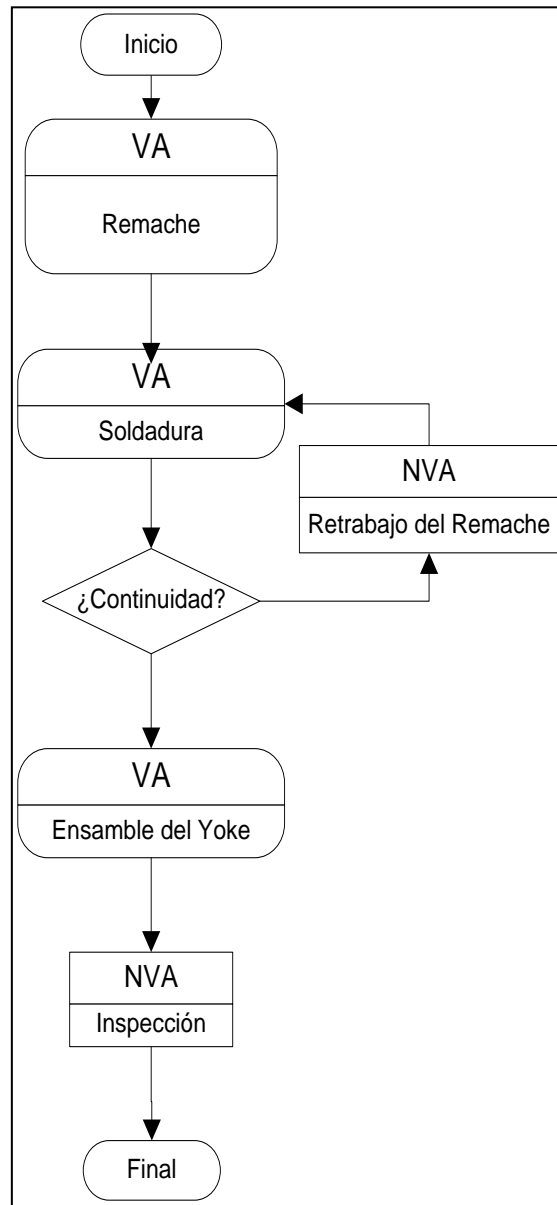


Figura 3.5. Mapa de proceso propuesto.

El mapa del proceso propuesto consta del remache, de la soldadura, de la verificación de la continuidad y en caso de haberla, se continúa con el ensamble del Yoke, pero de no ser así, se retrabaja el remache y se continúa con las operaciones subsiguientes. Después del ensamble del Yoke, se inspecciona y se finaliza el proceso.

Las operaciones del proceso propuesto que agregan valor (VA) al producto son: Remache, Soldadura y Ensamble del Yoke.

Las operaciones del proceso propuesto que no agregan valor (NVA) al producto son el Retrabajo del Remache y la Inspección.

### 3.1.5 Análisis de Modo y Efecto de Falla de un Proceso (PFMEA).

Una no conformancia es una condición diferente de lo que se espera que sea el producto o servicio.

El Modo de Falla y Análisis de Efectos de un Proceso (PFMEA) es un documento detallado que identifica las formas en las cuales un proceso o producto puede fallar al tratar de cumplir requerimientos críticos de los clientes o de los procesos (Y's). Así mismo, es un documento vivo que enlista todas las posibles causas (X's) de la cual se puede crear el plan de control y que permite al equipo dar prioridad a las acciones requeridas para mejorar el proceso [2], [4].

El Modo de Falla y Análisis de Efectos de un Proceso (PFMEA) se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Análisis de Modo y Efecto de Falla de un Proceso (PFMEA).

| # | Funcion del Proceso (Paso) | Modos Potenciales de Falla (No Conformancias) | Efectos de Fallas Potenciales (Y's)          | S E V | C l a s e | Causas Potenciales de Falla (X's)         | O C C | Controles Actuales del Proceso              | D E T | R P N | Acciones Recomendadas                       | Persona Responsable | Acciones Tomadas | S E V | O C C | D E T | R P N |
|---|----------------------------|---|--|-------|-----------|---|-------|---|-------|-------|---|---------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | Remache                    | Alambre cortado                               | Remache ajustado                             | 8     | C         | Ajuste de la Máquina                      | 6     | Hoja de Especificación de Altura de Remache | 4     | 192   | Revisar altura del remache                  |                     |                  |       |       |       |       |
|   |                            |   | Distancia incorrecta del remache a la bobina | 8     | C         | Error del operador                        | 5     | Procedimiento de Ensamble                   | 3     | 120   | Poke Yoke                                   |                     |                  |       |       |       |       |
|   |                            | Alambre suelto                                | Remache flojo                                | 8     | C         | Ajuste de la Máquina                      | 5     | Hoja de Especificación de Altura de Remache | 2     | 80    | Revisar altura del remache                  |                     |                  |       |       |       |       |
| 2 | Soldadura                  | Remache derretido/quemado                     | Arco Eléctrico                               | 9     | C         | Baja presión en la cabeza de la soldadura | 5     | Hoja de Especificación de Soldadura         | 2     | 90    | Obtener los parametros optimos de soldadura |                     |                  |       |       |       |       |
|   |                            |   |  | 8     | C         | Alta resistencia                          | 5     |   | 2     | 80    |   |                     |                  |       |       |       |       |
|   |                            | Alambre cortado                               | Exceso de calor                              | 8     | C         | Largo tiempo de soldadura                 | 5     |   | 2     | 80    |   |                     |                  |       |       |       |       |

El Remache y la Soldadura son los pasos del proceso que serán analizados, ya que ambos son parte del Premoldeo, el cual es el proceso que presenta índices más altos de no conformancias comparado con el proceso de Moldeo.

En el Remache, las principales fallas potenciales son dos. La primera es el alambre cortado, la cual es el efecto de un remache ajustado o de la distancia incorrecta del remache a la bobina. La segunda es el alambre suelto, la cual es el efecto de un remache flojo.

En la Soldadura las principales fallas potenciales son dos. La primera es el remache derretido o quemado, la cual es el efecto del arco eléctrico. La segunda es el alambre cortado, la cual es el efecto del exceso de calor.

La tabla 3.1 categoriza lo que se enlista a continuación:

- ◆ Severidad de la Falla.
- ◆ Clase de la Falla.
- ◆ Causa Potencial de Falla.
- ◆ Probabilidad de ocurrencia.
- ◆ Como se controla actualmente esta no conformancia.
- ◆ Detección esperada.

- 
- ◆ Prioridad de Riesgo en el Efecto.
  - ◆ Prevención de la no conformancia.

### 3.2 ANÁLISIS.

Durante la fase Definición/Medición, se concluyó que la bobina número de parte 238210-032-D presenta problemas recurrentes de circuito abierto, debido a su fino calibre y alto volumen de producción.

Para hacer el cambio de un proceso a otro, se identificaron las operaciones críticas del proceso actual que pudieran afectar el proceso propuesto:

La operación de embobinado, no mostró ningún signo relevante de causas no conformantes. La operación de embobinado se muestra en la figura 3.6.

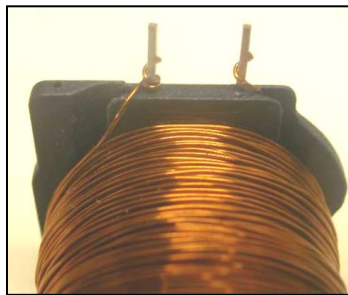


Figura 3.6 Operación de embobinado.

La operación de remache, mostró una alta relevancia en las causas que originan las no conformancias. Es en esta operación donde se encuentran los factores críticos en los que se enfocara el proyecto. La operación de remache se muestra en la figura 3.7.

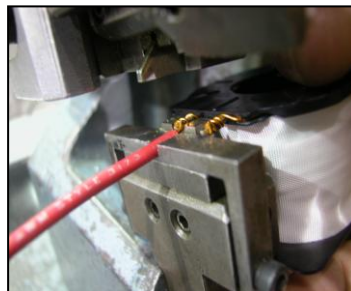


Figura 3.7 Operación de remache.

La operación de ensamble del yoke y la operación de moldeo presentan bajas causas de rechazo. Las no conformidades que se presentan en estas etapas, son originadas en la operación previa. La operación de ensamble del yoke se muestra en la figura 3.8 y la operación de moldeo se muestra en la figura 3.9.



Figura 3.8 Operación de ensamble del yoke.



Figura 3.9 Operación de moldeo.

### 3.2.1 Hipótesis.

Las hipótesis a considerarse en el desarrollo del proyecto son:

#### Hipótesis 1.

Si se incrementa la altura del remache a 0.070", el proceso mejorará.

#### Hipótesis 2.

Si se usa una banda con acabado Redondo (RTM) en vez de una banda con acabado dentado (MTM), el proceso mejorará.

#### Hipótesis 3.

Si se reduce la cantidad de material en la longitud de la banda, el proceso mejorará.

### 3.2.2 Prueba de Hipótesis.

El área de la Fábrica de Bobinas utiliza el sistema Kanban y produce 720 Bobinas por lote.

El ajuste de la altura apropiada del remache es muy importante. El calibre del alambre de magneto utilizado en las bobinas varía entre 19 y 40. Al ser pequeña la altura del remache, más pequeño es el diámetro de éste y se crea el efecto de yunque (se aplasta el alambre de magneto). Al ser grande la altura del remache, más grande es el diámetro de éste y se crea una adecuada unión en el proceso de ensamble. Para obtener la altura optima del remache, se estableció como mínimo una libra de fuerza en la prueba de jalón. En la bobina número de parte 238210-032-D, la cual tiene alambre de magneto de calibre 34, se utilizará una altura entre 0.70" y 0.75".

**Hipótesis 1.** Se produjeron 2 lotes de 720 bobinas cada uno. En el lote 1, la altura del remache fue de 0.070" y en el lote 2 fue de 0.065". En ambos lotes se utilizó material MTM con acabado dentado. El número de parte que se esta investigando fue remachado en la máquina 1 y en la 5. En la tabla 3.2 se observan los resultados de la prueba de hipótesis 1.

Tabla 3.2 Resultados de la prueba de hipótesis 1.

| Altura del Remache | Lote | Bobinas Producidas | Bobinas No Conformantes | PPM'S |
|--------------------|------|--------------------|-------------------------|-------|
| 0.070"             | 1    | 720                | 8                       | 11111 |
| 0.065"             | 2    | 720                | 24                      | 33333 |

Los resultados obtenidos nos indican que el proceso mejoró con la altura del remache en 0.070". La figura 3.10 muestra el remache con el parámetro actual y la figura 3.11 muestra el remache con el parámetro propuesto.



Figura 3.10 Remache con el parámetro actual.



Figura 3.11 Remache con el parámetro propuesto.

**Hipótesis 2.** Se produjeron 2 lotes de 720 bobinas cada uno. En ambos lotes la altura del remache fue de 0.070". En el lote 1, se utilizó material RTM con acabado redondo y en el lote 2 se utilizó material MTM con acabado dentado. Esta muestra fue hecha en la máquina 5. En la tabla 3.3 se observan los resultados de la prueba de hipótesis 2.

Tabla 3.3 Resultados de la prueba de hipótesis 2.

| Material | Lote | Bobinas Producidas | Bobinas No Conformantes | PPM'S |
|----------|------|--------------------|-------------------------|-------|
| RTM      | 1    | 720                | 5                       | 6944  |
| MTM      | 2    | 720                | 7                       | 9722  |

---

Los resultados obtenidos nos indican que el proceso mejoró al utilizar una banda con acabado redondo (RTM) en vez de una banda con acabado dentado (MTM).

Otra condición que afectó el proceso, fue que una de las remachadoras tenía índices de rechazo más altos que la otra. Ambos tenían los mismos parámetros de remache y el mismo operador, pero diferente remachador. El remachador es uno de los componentes de los dados de la remachadora que regula el tamaño longitudinal del remache. La máquina 1 tenía más rechazo que la máquina 5, debido a que la primera tenía menos espacio dentro de la remachadora, lo cual crea el efecto de yunque (se aplasta el alambre de magneto).

Hipótesis 3. Se produjeron 2 lotes de 720 bobinas cada uno. En ambos lotes la altura del remache fue de 0.070" y se utilizó material MTM con acabado dentado. El lote 1 fue hecho en la remachadora 5 y el lote 2 fue hecho en la remachadora 1. En la tabla 3.4 se observan los resultados de la prueba de hipótesis 3.

Tabla 3.4 Resultados de la prueba de hipótesis 3.

| Remachadora | Lote | Bobinas Producidas | Bobinas No Conformantes | PPM'S |
|-------------|------|--------------------|-------------------------|-------|
| 5           | 1    | 720                | 7                       | 9722  |
| 1           | 2    | 720                | 21                      | 29167 |

Los resultados obtenidos nos indican que el proceso mejoró al utilizar la remachadora 5 en vez de la remachadora 1. La figura 3.12 muestra el remache hecho con la máquina 1 y la figura 3.13 muestra el remache hecho con la máquina 5.



Figura 3.12 Remache hecho con la máquina 1.



Figura 3.13 Remache hecho con la máquina 5.

---

## 3.3 MEJORA.

### 3.3.1 Diseño de Experimentos.

El Diseño de Experimentos es un proceso científico estructurado que controla las entradas conforme a un plan que nos proporciona eficientemente datos estadísticos muy útiles.

Con el Diseño de Experimentos, el experimentador cambia los ajustes de las variables (X's) conforme a ciertos requerimientos matemáticos para observar y medir los cambios en la variable de respuesta (Y). Además, permite el estudio de los efectos de muchos factores que pudieran influir al producto o al proceso simultáneamente.

Un experimento eficiente es un experimento que controla la información requerida al menor costo posible de recursos.

“El propósito de un experimento es entender mejor el mundo real, no entender los datos experimentales”. William Diamond, IBM -Estadista retirado-.

La terminología utilizada en un Diseño de Experimentos es la siguiente [13]:

**Diseño Experimental.** Es el plan para correr el experimento. Definición de la variable de respuesta, los factores, los niveles, el número de corridas, el número de replicas y/o repeticiones.

**Factor.** También conocido como X, variable de entrada o variable independiente. Es la entrada al proceso en la que se hacen cambios a propósito y se observan los cambios que se producen en la variable de respuesta.

**Nivel.** Son los valores de operación que se asignarán a los factores en el experimento controlado. En un diseño factorial de 2 niveles, se tiene un valor alto y un valor bajo. Estos 2 factores deben estar tan separados en su valor como sea posible, de manera que podamos notar cualquier diferencia en la variable de respuesta, si esa diferencia existe. El valor o nivel bajo se identifica como -1 y el alto como +1.

**Combinación de Tratamientos.** La combinación única de factores y niveles, para la cual se registra el valor de Y en cada corrida.

**Diseño Balanceado.** Es la condición en un experimento en el cual cada factor tiene el mismo número de corridas tanto en su nivel alto (+) como en su nivel bajo (-) [16].

Para desarrollar el Diseño de Experimentos, se aplicara el método de 3 variables para un Diseño Factorial Completo.

Las ventajas de este método son:

- Diseño sencillo.
- Existen 3 interacciones de parejas de factores.
- No existe confusión entre los factores.

---

Las desventajas de este método son:

- Solo se permiten 3 factores.
- Se llevan a cabo 8 pruebas que deben ser controladas.

Actualmente no se tienen parámetros establecidos de manera formal para la Soldadura de Arco en el área de Red Hat I y Red Hat II. El objetivo principal del Diseño de Experimentos es obtener los parámetros de soldadura óptimos, siendo la variable de respuesta el barniz removido del alambre de magneto. La corriente eléctrica, el tiempo de la soldadura y la medida de calibre del alambre de magneto son los factores que serán considerados en el Diseño de Experimentos. Los niveles a utilizarse son 2 y sus valores se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Valores de los Factores del Diseño de Experimentos.

| Factores (-Bajo, +Alto)                           | Niveles |
|---|---------|
| Corriente eléctrica, 200 y 260 amperes            | 2       |
| Tiempo de la soldadura, 8 y 12 ciclos             | 2       |
| Medida de calibre del alambre de magneto, 27 & 37 | 2       |

El proceso de manufactura se llevara a cabo de la siguiente forma:

1. Cada componente a ser usado en el Diseño de Experimentos será inspeccionado. Posteriormente, los componentes serán empacados, etiquetados y suministrados al departamento de Manufactura.
2. Cada paso del proceso de manufactura será monitoreado.
3. Para la operación de remache, el dado de la máquina será ajustado a 0.075" de altura. Solo una máquina será utilizada por el mismo operador. La altura del remache será monitoreada y capturada en una hoja de datos cada vez que se remachen 10 piezas.
4. Todos los componentes soldados serán identificados y probados durante el proceso de manufactura. El método de medición será visual y se llevara a cabo con el Microscopio, comparándose con una de las siguientes 5 categorías que se muestran en la figura 3.14 para identificar el componente conformante y el no conformante.

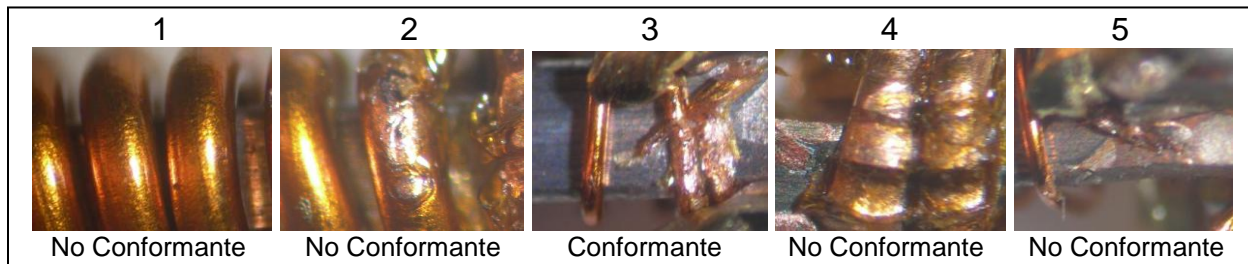


Figura 3.14 Categoría de la soldadura conformante y no conformante.

La categoría 1 muestra no soldadura/no barniz removido, la categoría 2 muestra no soldadura/barniz removido, la categoría 3 muestra soldadura/barniz removido, la categoría 4 muestra soldadura/barniz quemado y la categoría 5 muestra soldadura/barniz derretido. De las 5 categorías, solo se considera conformante la que muestra soldadura/barniz removido, es decir la 3.

Las combinaciones de los parámetros se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Combinaciones de los parámetros.

| Corriente eléctrica | Tiempo de soldadura | Medida de calibre |
|---------------------|---------------------|-------------------|
| 200                 | 8                   | 37                |
| 260                 | 8                   | 37                |
| 200                 | 8                   | 27                |
| 260                 | 8                   | 27                |
| 200                 | 12                  | 37                |
| 260                 | 12                  | 37                |
| 200                 | 12                  | 27                |
| 260                 | 12                  | 27                |

El orden de las corridas se muestra en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Orden de las corridas.

| Orden de la Corrida | Corriente Eléctrica | Tiempo de la Soldadura | Medida de Calibre |
|---------------------|---------------------|------------------------|-------------------|
| 1                   | 200                 | 8                      | 27                |
| 2                   | 200                 | 12                     | 37                |
| 3                   | 260                 | 8                      | 27                |
| 4                   | 260                 | 12                     | 37                |
| 5                   | 200                 | 8                      | 37                |
| 6                   | 260                 | 8                      | 37                |
| 7                   | 260                 | 12                     | 27                |
| 8                   | 200                 | 12                     | 27                |

La corrida 1 muestra evidencia de soldadura/barniz removido (categoría 3 de la figura 3.14), lo cual se observa en la figura 3.15.



---

Figura 3.15 Corrida 1.

La corrida 2 muestra evidencia de no soldadura/barniz removido (categoría 2 de la figura 3.14), lo cual se observa en la figura 3.16.



Figura 3.16 Corrida 2.

La corrida 3 muestra evidencia de soldadura/barniz removido (categoría 3 de la figura 3.14), lo cual se observa en la figura 3.17.



Figura 3.17 Corrida 3.

La corrida 4 muestra evidencia de soldadura/barniz quemado (categoría 4 de la figura 3.14), lo cual se observa en la figura 3.18.



Figura 3.18 Corrida 4.

La corrida 5 muestra evidencia de no soldadura/barniz removido (categoría 2 de la figura 3.14), lo cual se observa en la figura 3.19.



Figura 3.19 Corrida 5.

La corrida 6 muestra evidencia de soldadura/barniz quemado (categoría 4 de la figura 3.14), lo cual se observa en la figura 3.20.



Figura 3.20 Corrida 6.

La corrida 7 muestra evidencia de soldadura/barniz derretido (categoría 5 de la figura 3.14), lo cual se observa en la figura 3.21.



Figura 3.21 Corrida 7.

La corrida 8 muestra evidencia de soldadura/barniz derretido (categoría 5 de la figura 3.14), lo cual se observa en la figura 3.22.



---

Figura 3.22 Corrida 8.

Los resultados de las corridas, nos indican que el 25% de estas se encuentran dentro de la categoría Conformante y el 75% dentro de la No Conformante.

El desarrollo de las corridas en el Diseño de Experimentos para obtener la soldadura Conformante, mostró lo siguiente:

- Se puede aplicar la corriente eléctrica a 200 o 260 volts sin afectar el resultado.
- El tiempo de soldadura óptimo es de 8 ciclos.
- La medida de calibre en la cual se aplicarían ambos parámetros es la 27.

---

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

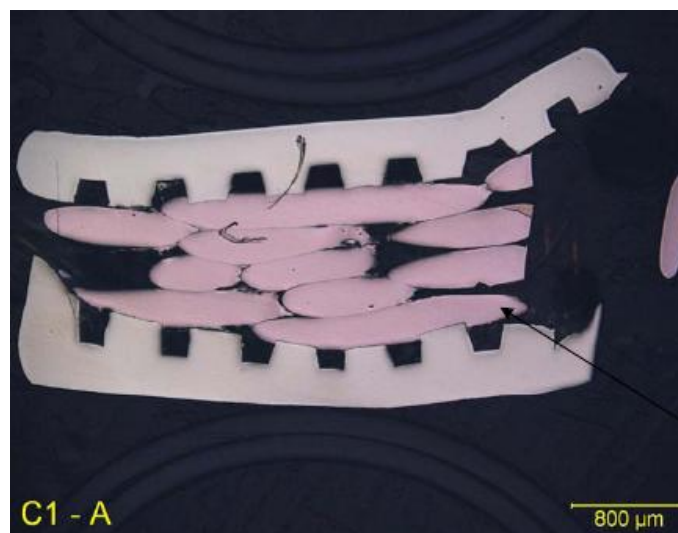
#### 4.1 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL PROCESO ACTUAL Y EL PROCESO PROPUESTO A TRAVÉS DE EXAMINACIÓN MICROSCÓPICA.

Las pruebas de resistencia que se han llevado a cabo muestran que el proceso propuesto se desempeña dentro de los niveles satisfactorios, sin embargo aún hay algunas respuestas que dar a preguntas como ¿qué tan buena es la conexión eléctrica que se obtiene con el proceso propuesto?

Debido al anterior cuestionamiento, se contrataron los servicios de Edison Welding Institute Inc., por medio del proyecto número 51172CSP “Examinación Microscópica de las Conexiones del Remache” para realizar un análisis comparativo entre el proceso actual y el proceso propuesto.

Las muestras utilizadas en el proyecto fueron cortadas en forma seccional a través del carrete, esto con la finalidad de no dañar el alambre de magneto en el remache. Para cada proceso (actual y propuesto) se analizaron dos bobinas que fueron examinadas en el microscopio. Un cable de conexión de cada bobina fue examinado de su sección longitudinal y transversal, mientras que en el otro cable se examinaron sus extremos. Las muestras adicionales fueron evaluadas para confirmar las observaciones de la primera serie de muestras. Antes de hacer las observaciones con el microscopio, se utilizó un multímetro para medir la resistencia de las bobinas. Las muestras clasificadas en las siguientes figuras con A-1 y 2, fueron soldadas con corriente de 200 amperes y las clasificadas con A-3 y A-4, fueron soldadas con corriente de 260 amperes.

En la fotomicrografía de la figura 4.1 se observan algunos hilos de alambre de magneto aplastados durante el remache con la finalidad de lograr un buen contacto. La flecha indica un alambre de magneto aplastado.



---

Figura 4.1 Vista de la sección longitudinal de la muestra C1 - A (proceso actual) (50x).  
La figura 4.2 muestra la segunda vista de la sección longitudinal de la muestra C1 - A (50x).

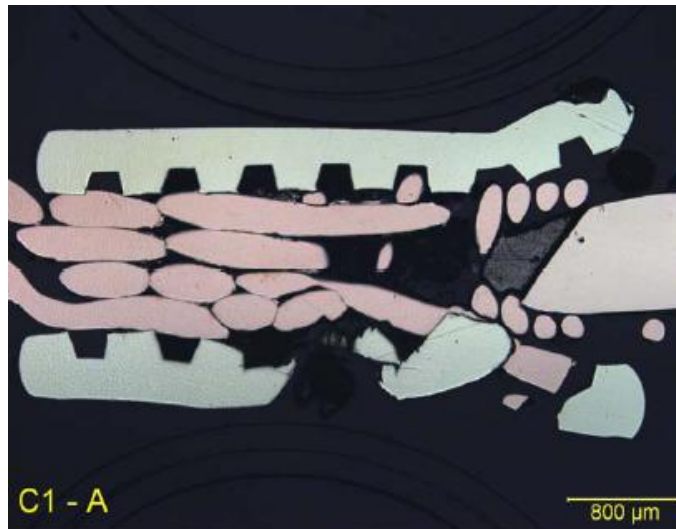


Figura 4.2 Segunda vista de la sección longitudinal de la muestra C1 - A (50x).

En la fotomicrografía de la figura 4.3 se observa que el remache aplastó los hilos de alambre de magneto y entró en contacto cercano con el pin (parte central superior). La flecha 1 indica el alambre de magneto del pin deformado. La flecha 2 indica el alambre de magneto ligeramente deformado.

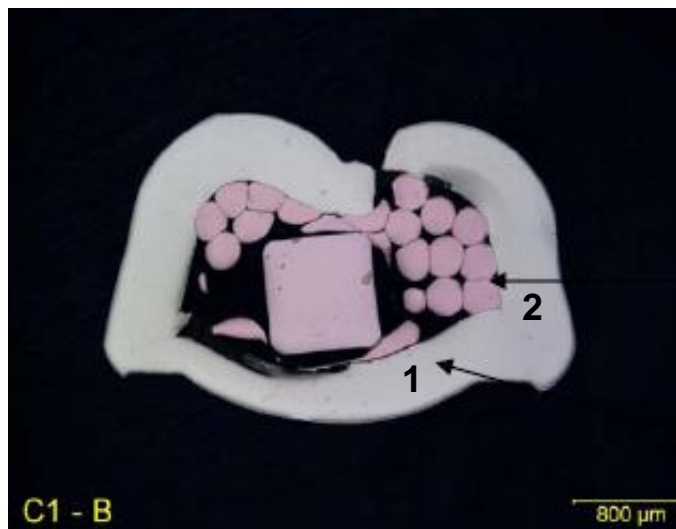


Figura 4.3 Vista de la sección transversal de la muestra C1 - B (proceso actual) (50x).

En la fotomicrografía de la figura 4.4 se observa que los alambres de magneto están sostenidos solamente por el remache. Algunos de ellos, quedan atrapados en la banda con acabado dentado, lo cual se indica con la flecha 1. Otras secciones parece que son aplastadas completamente entre la banda con acabado dentado y el pin, lo cual se indica con la flecha 2. Si el alambre de magneto es aplastado en forma severa, se puede romper.

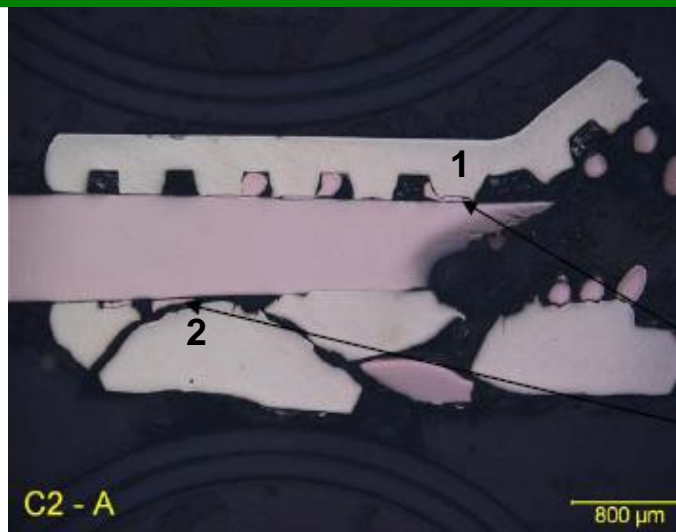


Figura 4.4 Vista de la sección longitudinal de la muestra C2 - A (proceso actual) (50x).

En la fotomicrografía de la figura 4.5 se observa que algunos alambres de magneto son aplastados severamente por el remache y hay buen contacto entre estos y el pin. El alambre de magneto altamente deformado lo indica la flecha 1 y el alambre de magneto ligeramente deformado lo indica la flecha 2.

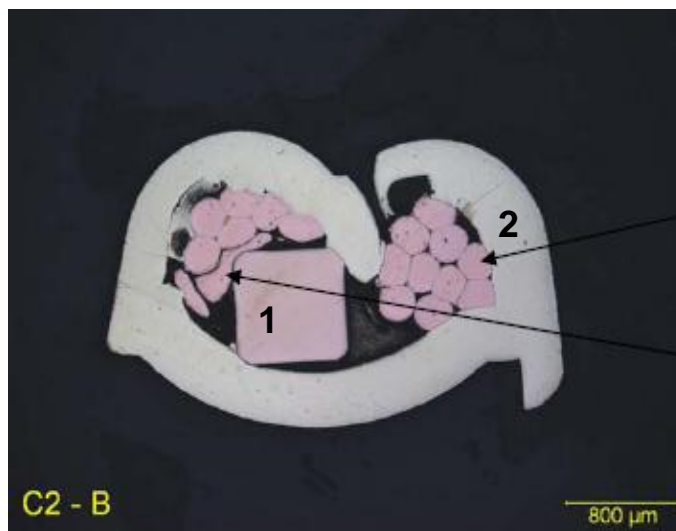


Figura 4.5 Vista de la sección transversal de la muestra C2 - B (proceso actual) (50x).

En la figura 4.6 el pin se mueve fuera del plano de esta fotomicrografía y debido a esto no se puede observar si todos los alambres de magneto son aplastados. La flecha 1 indica los alambres de magneto altamente deformados por el pin y la flecha 2 los ligeramente deformados. La flecha 3 indica como algunos alambres de magneto quedan atrapados en la banda con acabado dentado. Al parecer la deformación es menor que en el proceso actual.

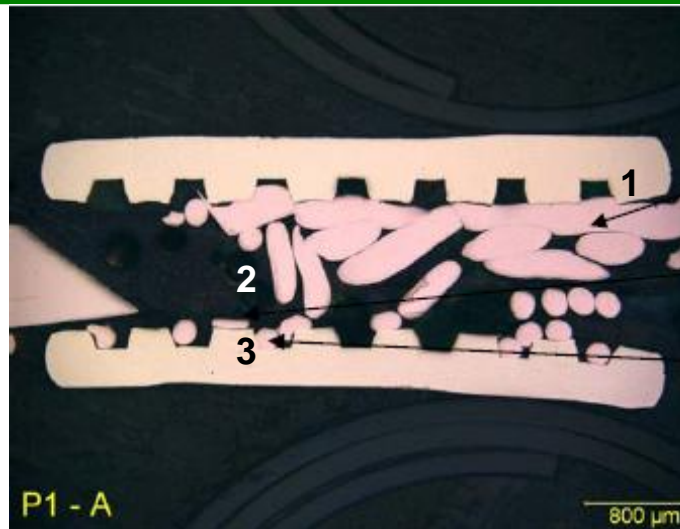


Figura 4.6 Vista de la sección longitudinal de la muestra P1 - A (proceso propuesto) (50x).

La figura 4.7 muestra una segunda vista de la sección longitudinal de la muestra P1 - A (50x).

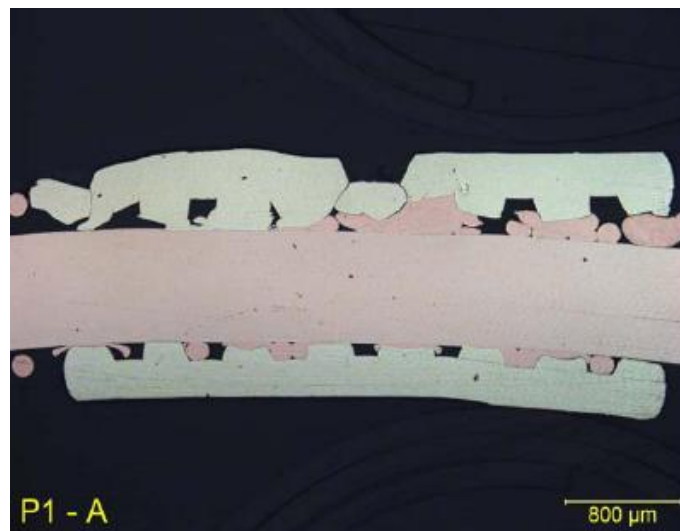


Figura 4.7 Segunda vista de la sección longitudinal de la muestra P1 - A (50x).

En la fotomicrografía de la figura 4.8 se observa que los alambres de magneto son aplastados por el remache y el pin en la parte inferior, lo cual es indicado por la flecha 1. El buen contacto entre el remache y los alambres de magneto también es visible. Al parecer los alambres de magneto señalados con la flecha 2, no han sido aplastados.

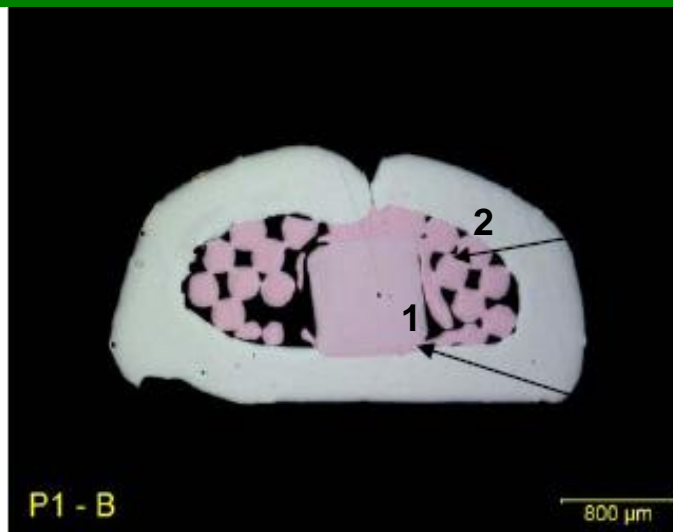


Figura 4.8 Vista de la sección transversal de la muestra P1 - B (proceso propuesto) (50x).

En la fotomicrografía de la figura 4.9 se observan alambres de magneto atrapados en la banda con acabado dentado y ligera deformación de los mismos. Los alambres de magneto no son claramente visibles.

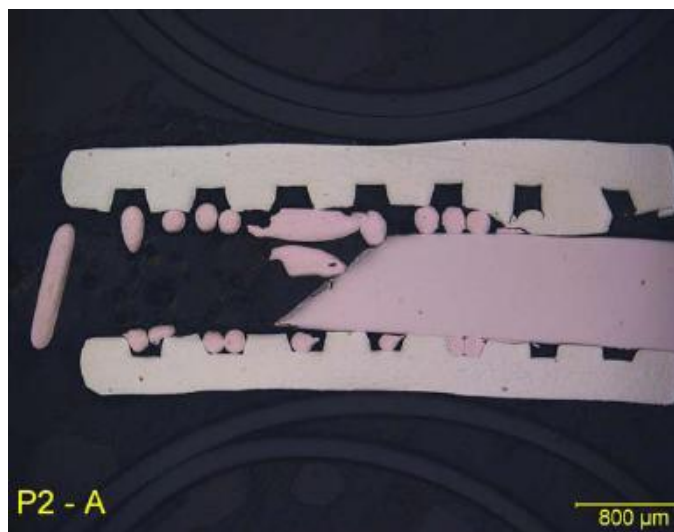


Figura 4.9 Vista de la sección longitudinal de la muestra P2 - A (proceso propuesto) (50x).

En la fotomicrografía de la figura 4.10 se observa deformación de los alambres de magneto en la parte superior e inferior del pin, lo cual es indicado por las flechas 1 y 2. Los alambres de magneto son ligeramente aplastados por el remache.



Figura 4.10 Vista de la sección transversal de la muestra P2-B (proceso propuesto) (50x).

En la figura 4.11 se observa la fotomicrografía de la muestra C1 - A (proceso actual). Las flechas 1 indican el aislante derretido y la flecha 2 indica la soldadura.

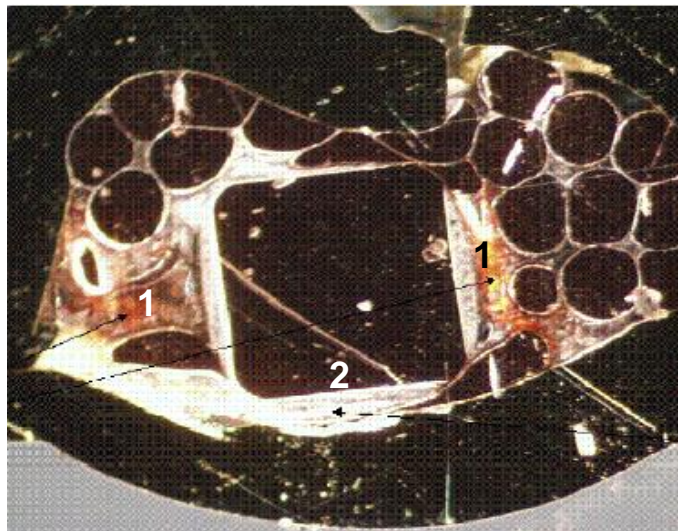


Figura 4.11 Fotomicrografía de la muestra C1 - A (proceso actual) (las flechas 1 indican el aislante derretido y la flecha 2 indica la soldadura).

En la figura 4.12 se observa la fotomicrografía de la muestra P1 - B (proceso propuesto). La flecha 1 indica el aislante en los alambres de magneto. No hay aislante visible entre el remache y el pin.

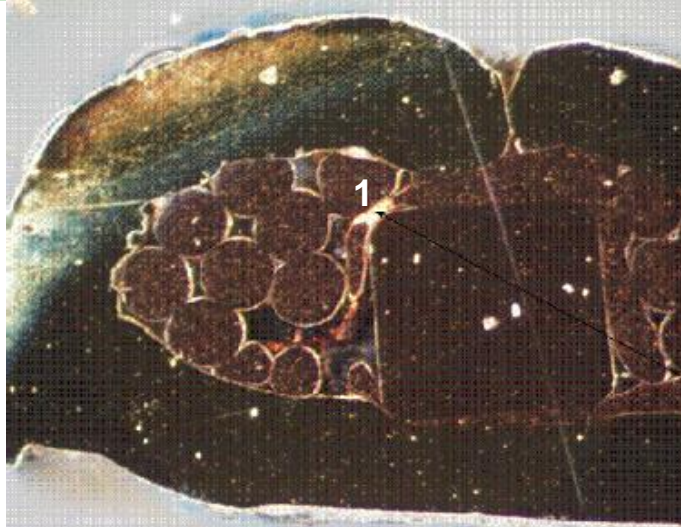


Figura 4.12 Fotomicrografía de la muestra P1 - B (proceso propuesto) (la flecha 1 indica el aislante en los alambres de magneto. No hay aislante visible entre el remache y el pin).

En la figura 4.13 se observa la fotomicrografía de la muestra P2 - B (proceso propuesto) y como en la figura 3.34, el aislante no es visible en los alambres de magneto entre el remache y el pin.

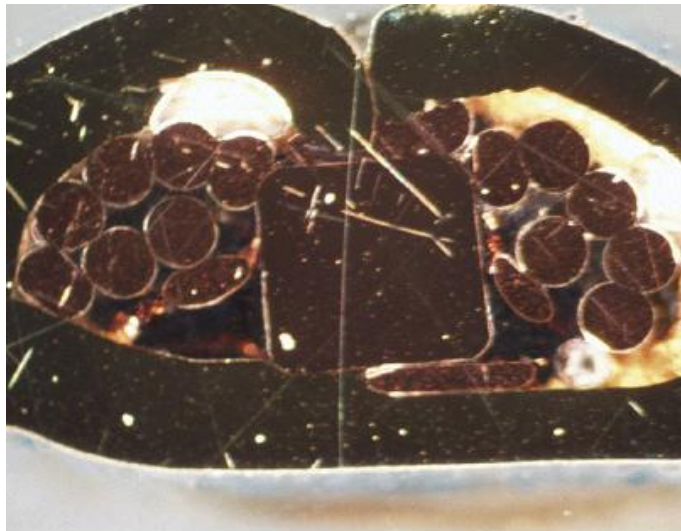


Figura 4.13 Fotomicrografía de la muestra P2 - B (proceso propuesto) (como en la figura 3.34, el aislante no es visible en los alambres de magneto entre el remache y el pin).

En la figura 4.14 se observa la fotomicrografía de la muestra C1 - A (proceso propuesto). Las flechas 1 indican el halo de aislante alrededor de los alambres de magneto y la flecha 2 indica la soldadura. También se observan residuos de soldadura en la banda con acabado dentado.

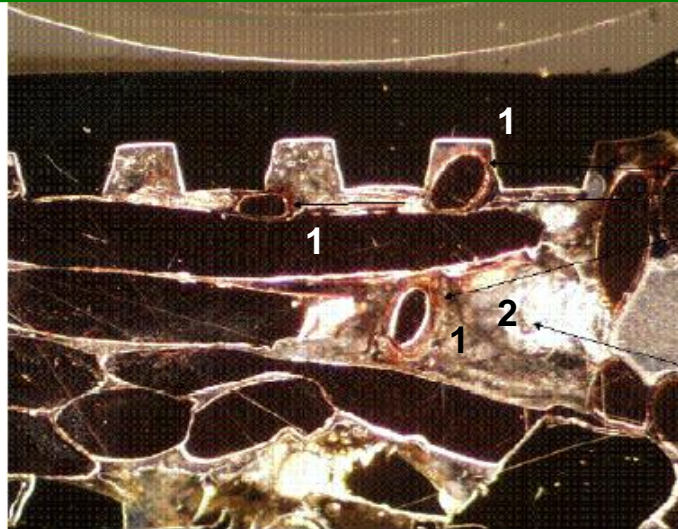


Figura 4.14 Fotomicrografía de la muestra C1 - A (proceso propuesto) (las flechas 1 indican el halo de aislante alrededor de los alambres de magneto. La flecha 2 indica la soldadura. También se observan residuos de soldadura en la banda con acabado dentado).

En la figura 4.15 se observa la fotomicrografía de la muestra P1 - A (proceso propuesto). El halo alrededor de los alambres de magneto probablemente es aislante.

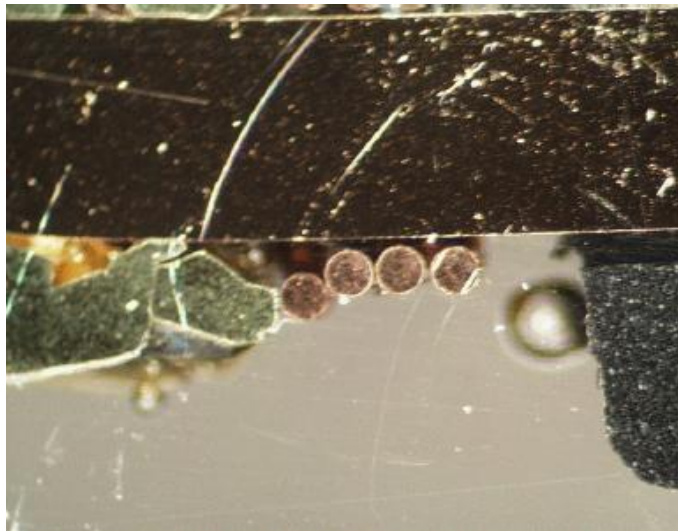


Figura 4.15 Fotomicrografía de la muestra P1 - A (proceso propuesto) (el halo alrededor de los alambres de magneto probablemente es aislante).

En la figura 4.16 se observa la fotomicrografía de la muestra P1 - A (proceso propuesto). La flecha 1 indica el alambre de magneto aplastado entre el remache y el pin. No hay aislante visible entre los alambres de magneto. La flecha 2 indica el depósito de aislante de los alambres de magneto.



Figura 4.16 Fotomicrografía de la muestra P1 - A (proceso propuesto) (la flecha 1 indica el alambre de magneto aplastado entre el remache y el pin. No hay aislante visible entre los alambres de magneto. La flecha 2 indica el depósito de aislante de los alambres de magneto).

La figura 4.17 indica la fotomicrografía de la muestra A1 - L (200 amperes y soldadura actual) (8x) en donde se observa la fusión del alambre de magneto abajo del pin en la parte central izquierda.

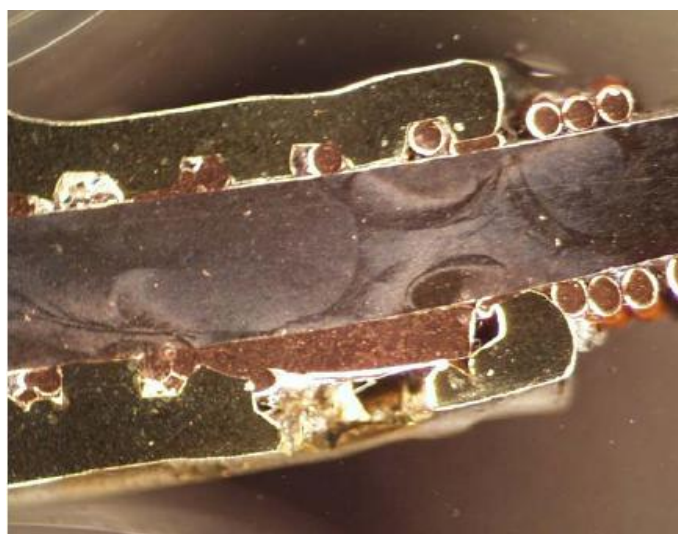


Figura 4.17 Fotomicrografía de la muestra A1 - L (200 amperes y soldadura actual) (8x) (se observa la fusión del alambre de magneto abajo del pin en la parte central izquierda).

La figura 4.18 indica la fotomicrografía de la muestra A2 - L (200 amperes y soldadura actual) (8x) en donde se observan alambres de magneto aplastados por el remache. Algo de fusión de alambre de magneto se observa en la esquina superior derecha.

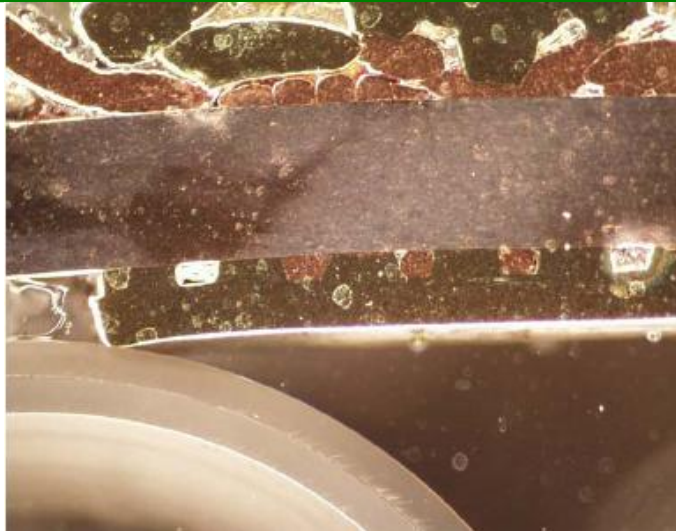


Figura 4.18 Fotomicrografía de la muestra A2 - L (200 amperes y soldadura actual) (8x) (se observan alambres de magneto aplastados por el remache. Algo de fusión de alambre de magneto se observa en la esquina superior derecha).

La figura 4.19 indica la fotomicrografía de la muestra A3 - L (260 amperes y soldadura actual) (8x) en donde se observa fusión de los alambres de magneto entre el pin y la banda con acabado dentado.

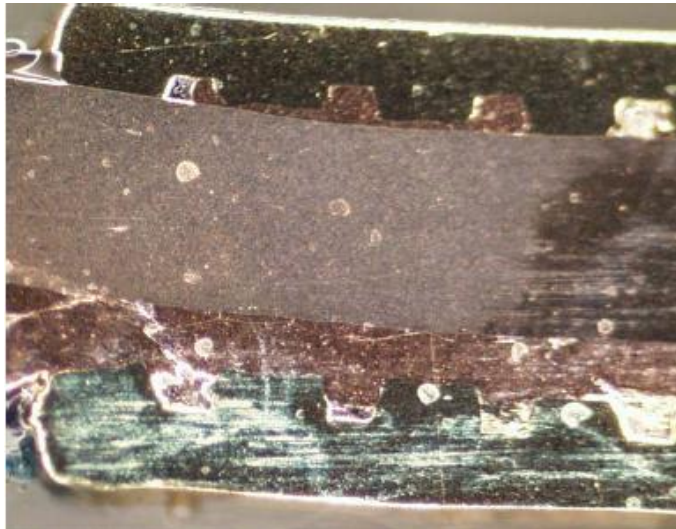


Figura 4.19 Fotomicrografía de la muestra A3 - L (260 amperes y soldadura actual) (8x) (se observa fusión de los alambres de magneto entre el pin y la banda con acabado dentado).

La figura 4.20 indica la fotomicrografía de la muestra A4 - L (260 amperes y soldadura actual) (8x) en donde se observan los alambres de magneto fundidos entre el pin y la banda con acabado dentado. Los límites débiles son visibles.

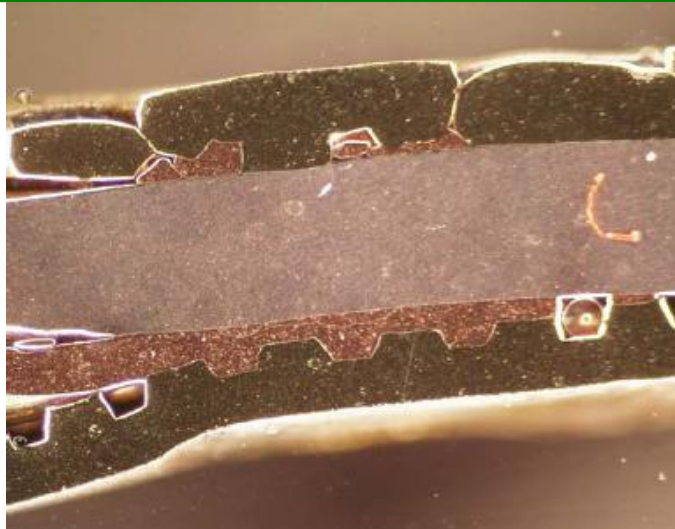


Figura 4.20 Fotomicrografía de la muestra A4 - L (260 amperes y soldadura actual) (8x) (se observan los alambres de magneto fundidos entre el pin y la banda con acabado dentado. Los límites débiles son visibles).

La figura 4.21 indica la fotomicrografía de la muestra A1 - T (200 amperes y soldadura actual) (8x) en donde se observan los alambres de magneto considerablemente aplastados por la banda con acabado dentado en la parte superior izquierda.

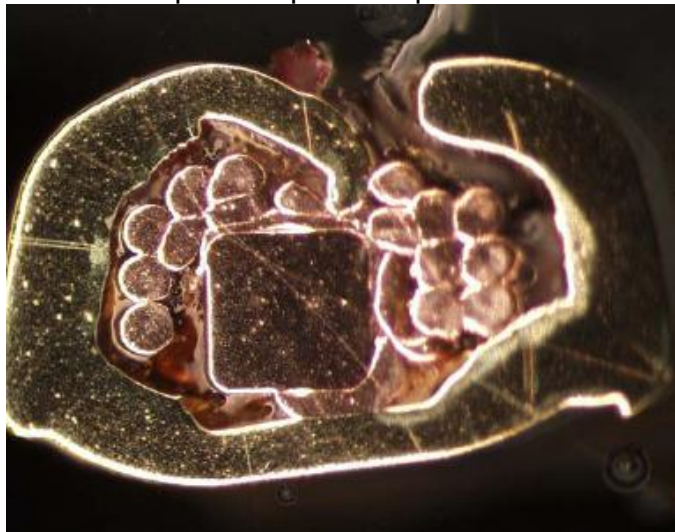


Figura 4.21 Fotomicrografía de la muestra A1 - T (200 amperes y soldadura actual) (8x) (se observan los alambres de magneto considerablemente aplastados por la banda con acabado dentado en la parte superior izquierda).

La figura 4.22 indica la fotomicrografía de la muestra A2 - T (200 amperes y soldadura actual) (8x) en donde se observan residuos de resina entre los alambres de magneto y el remache en la parte inferior derecha y fusion de los alambres de magneto y la banda con acabado dentado en la parte superior derecha.



Figura 4.22 Fotomicrografía de la muestra A2 - T (200 amperes y soldadura actual) (8x) (se observa residuos de resina entre los alambres de magneto y el remache en la parte inferior derecha y fusión de los alambres de magneto y la banda con acabado dentado en la parte superior derecha).

La figura 4.23 indica la fotomicrografía de la muestra A3 - T (260 amperes y soldadura actual) (8x) en donde se observa que los alambres de magneto no están aplastados.



Figura 4.23 Fotomicrografía de la muestra A3 - T (260 amperes y soldadura actual) (8x) (se observa que los alambres de magneto no están aplastados).

La figura 4.24 indica la fotomicrografía de la muestra A4 - T (260 amperes y soldadura actual) (8x) en donde se observa que el pin aplasta a los alambres de magneto.

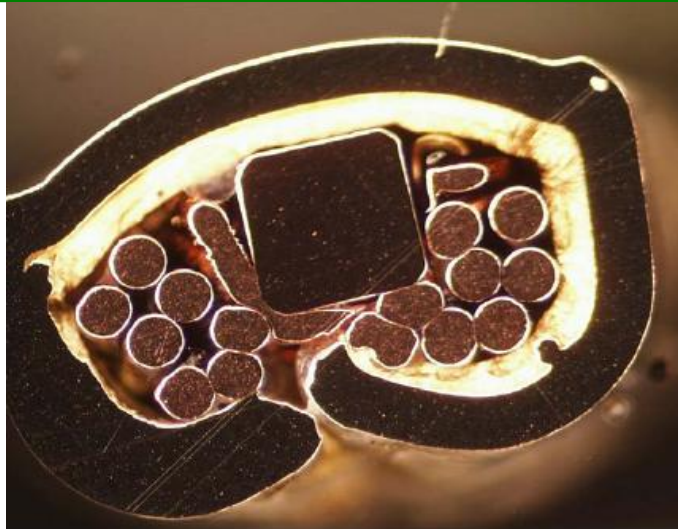


Figura 4.24 Fotomicrografía de la muestra A4 - T (260 amperes y soldadura actual) (8x) (se observa que el pin aplasta a los alambres de magneto).

El resultado obtenido en la examinación de los extremos del cable de conexión en los 2 procesos es casi idéntico. La examinación de la sección longitudinal y transversal reveló que el proceso propuesto produce menos deformación en el alambre de magneto bajo los dientes de la banda con acabado dentado (MTM), ya que se producen pocas rupturas del alambre de magneto que entra en el remache.

Las fotomicrografías indican que ambos procesos remueven el aislamiento en el alambre de magneto, con lo que se da una buena conexión eléctrica. Debido a que el proceso propuesto es menos severo, este propicia a evitar la ruptura en el alambre de magneto. La segunda serie de muestras hecha con dos diferentes condiciones de soldadura, muestra que la fusión entre el alambre de magneto y los cables de conexión es mayor cuando se utiliza una corriente más alta en la soldadura. Esta diferencia no se refleja en los valores de la resistencia, sin embargo una buena conexión eléctrica debe ser producida incluso cuando la fusión entre los alambres no es completa.

---

## 4.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA TRABAJO FUTURO

- Las pruebas de resistencia que se han llevado a cabo muestran que el proceso propuesto es más eficiente que el proceso actual y se desempeña dentro de los niveles satisfactorios.
- Debido a los resultados obtenidos durante las pruebas para evaluar la confiabilidad de la Soldadura por Resistencia contra la Operación Strip & Dip, este proceso se implementó en la empresa en Octubre de 2008 y durante el seguimiento al mismo el promedio que se tiene en retrabajo en lo que va del año fiscal 2009 es 0.90%, mientras que el promedio que se tenía en retrabajo en el año fiscal 2008 fue de 2.05%. La figura 4.25 ilustra dichos resultados.
- Con respecto al desperdicio el promedio que se tiene en lo que va del año fiscal 2009 es 0.42%, mientras que el promedio que se tenía en el año fiscal 2008 fue de 0.79%. La figura 4.25 ilustra dichos resultados.
- La principal recomendación para la segunda fase de este proyecto, es la de mantener el orden al momento de realizar las pruebas para evitar desperdicio de recursos como tiempo, dinero y esfuerzo al no seguir la secuencia estructurada.

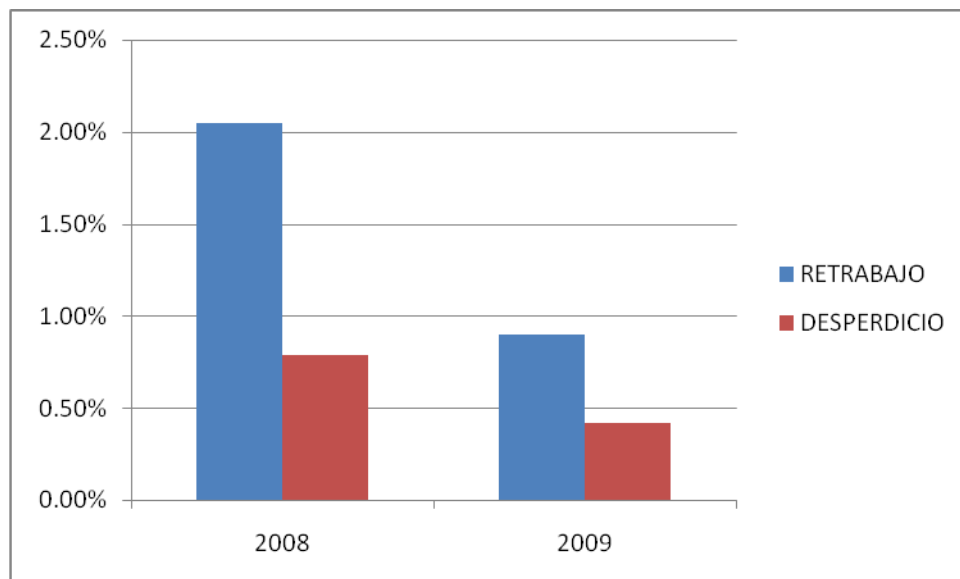


Figura 4.25 Gráfica comparativa de retrabajo y desperdicio.

---

### 4.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bralla, J.G., Handbook of Product Design for Manufacturing, McGraw-Hill Book Co., New York, 1986, Section 7.
- [2] Canavos, G. (1993). Probabilidad y Estadística, Aplicaciones y métodos. McGraw-Hill. México.
- [3] Cary, H. B., Modern Welding Technology, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1979.
- [4] Duncan Acheson, J. (1996). Control de Calidad Y Estadística Industrial. Editorial Alfaomega. México.
- [5] Eckes, G. (2005). El Six Sigma para todos. Grupo Editorial Norma. Bogotá.
- [6] Giachino, J. W.; WEEKS, W.: Técnica y práctica de la soldadura. ISBN 84-291-6053-1, Reverté, Barcelona, 1999.
- [7] Granjon, H.: Bases metalúrgicas de la soldadura. ISBN 84-604-7421-6, Publicaciones de la Soldadura Autógena, París, 1993.
- [8] Groover, Mikell P., Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos y Sistemas. 1ª edición, México: Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 1997.
- [9] H. Horwitz, Soldadura: Aplicaciones y Práctica. México: Editorial Alfaomega, 1997.
- [10] Juran J.M. & Cryna F.M. (1995). Análisis y Planeación de la Calidad. Editorial McGraw-Hill, México.
- [11] Martinez, R. (1993). Gráficos de control de la media y el rango Winsorizados. Universidad Nacional de Colombia. Santa fe de Bogotá.
- [12] Metals Handbook, 9th ed., Vol. 6, Welding, Brazing, and Soldering, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1983.
- [13] Peña Sánchez de Rivera, D. (1988). Estadística Modelos Y Métodos. Editorial Alianza Editorial textos, México.
- [14] S. Kalpakjian, S. R. Schmid, Manufactura, Ingeniería y Tecnología. 4ª edición, México: Editorial Pearson Educación, 2002.
- [15] Tennant, G. Six Sigma: Control Estadístico de procesos y Administración Total de la Calidad en Manufactura y Servicio.
- [16] Wetheril, G. & Brown Don, W. (1991). Statiscal Process Control. Editorial Chapman And Hall.

---

[17] Yang, C. C. (2004). Multivariate statistical methods and Six Sigma. Volumen uno. Número uno.

[18] <http://w3.cnice.mec.es/recursos/bachillerato/tecnologia/manual/electro/elem.htm>

[19] <http://www.grupokaizen.com/mck/mck11.php>

[20] <http://www.ifent.org/lecciones/cap07/cap07-08.asp>

[21] <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EEVuAlpAuuqQvuBUSb.php>

[22] <http://www.orfo2000.es/Seis%20sigma.html>

[23] [http://www.todoexpertos.com/categorias/ciencias\\_e\\_ingenieria/expertos/neoh/respuestas/557652/](http://www.todoexpertos.com/categorias/ciencias_e_ingenieria/expertos/neoh/respuestas/557652/)