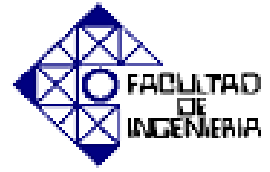




**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**



*“Determinación de la vida útil de electrodos en la soldadura
de bronce por resistencia eléctrica”.*

Tutor:

ING. URBANO OSWALDO

Autores:

GONZÁLEZ WILFREDO

HIDALGO DIEGO

BARBULA, Abril de 2008



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado para evaluar el Trabajo Especial de grado titulado: "**Determinación de la vida útil de los electrodos en la soldadura de aluminio por resistencia eléctrica**" realizado por los bachilleres: **González Wilfredo** C.I: 11.360.439 **Hidalgo Diego** C.I: 12.431960 hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Prof: Urbano Oswaldo

Tutor

Prof: Carmelo Torres

Jurado

Prof: Sidorovas Luís

Jurado

Barbula, 31 de Abril de 2.008

DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS ELECTRODOS EN LA SOLDADURA DE BRONCE POR RESISTENCIA ELÉCTRICA

Autores: González Wilfredo y Hidalgo Diego

Tutor: Ing. Oswaldo Urbano

**Universidad de Carabobo
Facultad de Ingeniería Escuela
de Ingeniería Mecánica**

RESUMEN

La estructura del presente proyecto de investigación comprende V capítulos destinados a desarrollar el tema, perteneciente a la línea de investigación; estudio de los procesos de conformado de materiales metálicos. En el capítulo I se plantea y formula el problema, el objetivo general y los objetivos específicos, los cuales se enfocan en la realización de ensayos de soldadura en función de determinar los parámetros óptimos de operación del equipo en el cual se desarrolla la investigación, para posteriormente realizar ensayos de desgaste de los electrodos al unir láminas de Bronce con enfriamiento y sin condiciones de refrigeración y así determinar la vida útil de los mismos. Seguidamente se desarrolla el capítulo II, en el mismo se exponen los fundamentos teóricos y prácticos del proceso de soldadura por resistencia eléctrica. En el capítulo III se presenta una breve descripción acerca de los parámetros de trabajo del equipo de soldadura y se describe la metodología utilizada para alcanzar los objetivos planteados. El capítulo IV se inicia al culminar los ensayos, en el mismo se procede con la recolección de los datos, selección y organización de la información para el estudio del desgaste de los electrodos y su cuantificación, para así documentar el análisis de los resultados y conclusiones en el capítulo V, demostrando que entre las aseveraciones logradas por este proyecto de investigación se destaca que en el método de soldadura por resistencia eléctrica la condición mas determinante para aumentar la vida útil de los electrodos es el enfriamiento.

INDICE

Introducción.....	1
CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA.....	5
I.1. Título del trabajo.....	5
I.2. Planteamiento del problema.....	5
I.3. Formulación del problema.....	6
I.4. Objetivos.....	7
I.4.1. Objetivo general.....	7
I.4.2. Objetivos específicos.....	7
I.5. Justificación.....	7
I.6. Limitaciones.....	8
I.7. Delimitaciones.....	8
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	11
II. 1. Antecedentes de la investigación.....	11
II.1.1. Antecedente I.....	11
II.1.2. Antecedente II.....	11
II.1.3. Antecedente III.....	12
II.1.4. Antecedente IV.....	13
II.1.5. Antecedente V.....	14
II.1.6. Antecedente VI.....	15
II.2. Bases teóricas.....	16
II.2.1. Importancia de la soldadura por resistencia eléctrica.....	16
II.2.2. Principio de funcionamiento.....	16
II.2.3. El calor en la soldadura por resistencia eléctrica.....	18
II.2.4. Variables principales que influyen en la soldadura por resistencia eléctrica y sus efectos.....	21
II.2.4.1. La intensidad de corriente.....	21
II.2.4.2. El tiempo de soldadura.....	23

II.2.4.3. La presión de soldadura.....	24
II.2.4.4. Los electrodos.....	25
II.2.4.5. La superficie.....	27
II.2.4.6. La composición del metal.....	28
II.2.4.6.1 Bronce.....	28
II.2.5 Balance calorífico.....	32
II.2.6. Disipación de calor.....	33
II.2.7. Ciclo de soldadura.....	34
II.2.7.1. Mejoras en el ciclo básico de soldadura.....	35
II.2.8. Circuito eléctrico.....	36
II.2.9. Preparación de las superficies.....	37
II.2.10. Marcado de la superficie.....	39
II.2.11. Electrodos y porta electrodos.....	39
II.2.11.1. funciones de los electrodos.....	40
II.2.12. Materiales para electrodos.....	41
II.2.12.1. Grupo A aleaciones a base de cobre.....	41
II.2.12.2. Grupo B composiciones de metales refractarios.....	42
II.2.12.3. Grupo C otros materiales.....	43
II.2.13. Características del electrodo.....	43
II.2.13.1. La cara.....	44
II.2.13.2. El vástago.....	44
II.2.13.3. El extremo o conexión.....	44
II.2.14. Mecanismo de enfriamiento.....	45
II.2.15. Prueba destructiva “peel”.....	45
II.2.15.1 Recomendaciones para la prueba de “peel”.....	47
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	51
III.1 Tipo de investigación.....	51
III.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	51

III.2.1. Registro histórico.....	51
III.2.2. Observación directa.....	51
III.2.2.1. Técnica utilizada en la observación directa.....	52
III.3. Logística o recursos utilizados.....	52
III.3.1. Materiales.....	52
III.3.1.1. Láminas de bronce.....	52
III.3.1.2. Electrodo cobre cromo.....	53
III.3.1.3. Bocinas adaptadoras.....	55
III.3.1.4. Multiteste digital.....	55
III.3.2 Equipos.....	56
III.3.2.2. Sistema de refrigeración de la maquina de soldadura por resistencia eléctrica del laboratorio de proceso.....	57
III.4. Técnica de análisis de datos.....	58
III.5. Metodología aplicada.....	58
III.5.1 ensayos pilotos de la soldadura por resistencia eléctrica en función de la intensidad de corriente vs. tiempo de unión y ensayo destructivo peel.....	58
III.5.1.1 Procedimiento.....	59
III.5.2 Ensayo de la soldadura por resistencia eléctrica en función de la geometría del electrodo (sin enfriamiento).....	60
III.5.2.1 Procedimiento.....	60
III.5.3 Ensayos de soldadura por resistencia eléctrica en función de la geometría del electrodo con (enfriamiento).....	61
III.5.3.1 Procedimiento.....	61
III.5.4. Obtención de los parámetros óptimos del proceso de soldadura por resistencia eléctrica y la vida útil de electrodos.....	62
III.5.4.1.Procedimiento.....	62
CAPÍTULO IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	65
IV.1. Desarrollo experimental.....	65

IV.1.1. <i>Determinación de las condiciones de operatividad del equipo de soldadura por resistencia eléctrica</i>	65
IV.1.2. <i>Resultados obtenidos por los equipos de medición intensidad y tiempo</i>	65
IV.2. Características generales de los puntos de soldadura generados en los ensayos pilotos y prueba destructivo peel.....	67
IV. 3. Ensayos de soldadura por resistencia eléctrica en función de la intensidad.....	68
IV.4. Ensayos de soldadura por resistencia eléctrica en función de la geometría del electrodo (con enfriamiento).....	70
IV.4.1. <i>Ensayo para la punta tipo puntiagudo (P)</i>	71
IV.4.2 <i>Ensayos para la punta tipo domo (D)</i>	74
IV.5. Ensayos de soldadura por resistencia eléctrica en función de la geometría del electrodo (sin enfriamiento).....	77
IV.5.1. <i>Ensayos para la punta tipo puntiagudo (P)</i>	78
IV.5.2 <i>Ensayos para la punta tipo domo (D)</i>	79
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	85
V. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	85
V.1. Ensayos piloto y prueba destructiva “Peel”	85
V.1.2 <i>Ensayo de desgaste sin enfriamiento</i>	86
V1.3 <i>Ensayos de desgaste con enfriamiento</i>	87
V.2 CONCLUSIONES.....	89
V.3 RECOMENDACIONES.....	91
V.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
ANEXOS.....	93

ÍNDICE DE TABLAS.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Tabla N° II.1. Propiedades térmicas de los metales.....27

Tabla N° II.2. Las propiedades de bronce.....32

CAPÍTULO IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Tabla IV N° 1. Valores de corrientes.....66

**Tabla IV N° 2. Características en los puntos de soldadura en donde se fija
una Posición del interruptor de corriente y la posición
del temporizador.....67**

Tabla IV N° 3. Valores de diámetros en función de la intensidad.....69

Tabla IV N° 4. Valores de diámetros y temperaturas.....72

Tabla IV N° 5. Valores de diámetros y temperaturas.....74

Tabla IV N° 6. Valores de diámetros y temperaturas.....78

Tabla IV N° 7. Valores de diámetros y temperaturas.....80

INDICE DE FIGURAS.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Fig. II.1. Esquema del principio de funcionamiento de la soldadura de Puntos.....	18
Fig. II. 2. Gráficas de resistencia mecánica y temperatura en términos de la posición dentro del circuito diagramado.....	20
Fig. II.3. Las diez variables más comunes en la soldadura por resistencia.....	33
Fig. II.4. Disipación de calor hacia el metal base circundante y los electrodos durante la soldadura de resistencia.....	35
Fig. II.5 Fases del ciclo de la soldadura.....	36
Fig. II.6 Ciclo de soldadura básica de un solo impulso para soldadura de Puntos y de proyección.....	37
Fig. II.7. Circuito de soldadura de puntos monofásico típico.....	38
Fig. II.8. Tipos de electrodos estándar y sus partes.....	41
Tabla N° II.3 Medidas recomendadas para las dimensiones de las probetas en el ensayo peel	47

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.

Fig. III. 1. Láminas de bronce.....	52
Fig. III.2 Imágenes y plano del diseño del electrodo tipo puntiagudo (P).....	53
Fig. II. 3. Imágenes y plano del diseño del electrodo tipo Domo (D).....	54
Fig. III. 4 Bocina adaptadora entre porta electrodo y electrodo.....	55
Figura III.5 Multitest digital.....	55
Figura III.6. Máquina de soldadura por resistencia eléctrica (electro punto).....	56
Fig. III.7 Sistema de refrigeración para la maquina de soldadura por resistencia eléctrica (electropunto).....	57

CAPÍTULO IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Fig. IV.1 Interruptores para posiciones de intensidad de corriente y de Temporizador.....	66
Fig. IV.1. Ensayo piloto y prueba destructiva (PEEL).....	68
Fig. IV.2 Duplas de probetas soldadas para en sayo piloto y prueba destructiva Peel. Posición 2.3.....	69
Fig. IV.3 Medición de los diámetros de la soldadura generada en los ensayos destructivo Peel de la prueba piloto.....	70
Fig. IV.4 Medición de la cara del electrodo y la altura del electro para las geometrías tipos puntiagudo (P) y domo (D).....	71
Fig. IV.5 marcaje de la lamina (izq.) y medición de temperatura de electrodo (der.).....	71
Fig. IV.6 láminas para el dejaste del electrodo tipo puntiagudo (P), con enfriamiento.....	77
Fig. IV.7 láminas para el dejaste del electrodo tipo Domo (D), con enfriamiento.....	76
Fig. IV.8 Colocación de la lámina a soldar entre los electrodos.....	77
Fig. IV.9 limpieza de adherencia de bronce en la cara de los electrodos.....	77
Fig. IV.10 láminas para el dejaste del electrodo tipo puntiagudo (P), sin enfriamiento.....	82
Fig. IV.11 láminas para el dejaste del electrodo tipo domo (D), sin enfriamiento.....	82

INDICE DE GRAFICAS.

CAPÍTULO IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Grafica IV N° 1. Comparación de los diámetros del electrodo puntiagudo con el punto de soldadura, utilizando el sistema de enfriamiento.....	73
Grafica IV N° 2. Temperatura de trabajo del electrodo puntiagudo con sistema de enfriamiento.....	73
Grafica IV N° 3 Comparación de los diámetros del electrodo (domo) con el punto de soldadura, utilizando el sistema de enfriamiento.....	75
Grafica IV N° 4 Temperatura de trabajo del electrodo domo con sistema de enfriamiento.....	75
Grafica IV N° 5 Comparación de los diámetros del electrodo puntiagudo con el punto de soldadura, sin utilizar el sistema de enfriamiento.....	79
Grafica IV N° 6 Temperatura de trabajo del electrodo puntiagudo sin utilizar el sistema de enfriamiento.....	79
Grafica IV N° 7Comparación de los diámetros del electrodo (domo) con el punto de soldadura, sin utilizar el sistema de enfriamiento.....	81
Grafica IV. N° 8 Temperatura de trabajo del electrodo domo sin utilizar el sistema de enfriamiento.....	81



INTRODUCCION

En la actualidad los costos asociados a la fabricación de un insumo, juegan un papel determinante en el estudio de la rentabilidad de producir el mismo, los altos volúmenes de producción en masa pasan a ser factores en los cuales un pequeño cambio en las magnitudes de las variables que los componen generan ganancia o pérdida de grandes cantidades de dinero.

En la soldadura por resistencia eléctrica los electrodos cumplen la labor de unir las piezas a soldar, por medio estos circulan corrientes de alta intensidad que generan altas temperaturas en la zona de contacto, además los mismos están sometidos a ciclos de esfuerzo a compresión producto de la fuerza que se emplea para unir las laminas en el intervalo de tiempo de soldeo.

Como parte de un proceso constructivo típicamente de producción en serie y masivo, la soldadura por electropunto ha llegado al punto de necesitar perfeccionamiento técnico. Manipular adecuadamente tantas variables como las que están involucradas en este proceso, han hecho un tanto difícil elevarle el tecnicismo al “estado de arte”.

Es seguro que el estudioso de esta técnica encontrará en este trabajo, información relevante que, en conjunto con la de otros trabajos, le permitirán acercarse en la práctica, un poco más al ideal de una "técnica pulida”.

Debido a estas condiciones de trabajo los electrodos se desgastan y deforman progresivamente siendo estos los insumos de mayor reemplazo en este tipo de soldadura. Al obtener las magnitudes exactas con las que se deben ajustar los equipos para unir laminas por medio de soldadura por resistencia eléctrica obtendremos a su vez la mayor vida útil de los electrodos, disminuyendo así la frecuencia de reemplazo que a su vez repercute positivamente en los costos de producción.



El presente trabajo se desarrolla en cinco capítulos, que comprenden: I El Problema, II Marco Teórico, III Marco Metodológico, IV Resultados y Observaciones. V Análisis de Resultados, Conclusiones y Recomendaciones.



I. EL PROBLEMA

I.1 TITULO DEL TRABAJO

“Determinación de la vida útil de electrodos en la soldadura de bronce por resistencia eléctrica”.

I.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en la industria de procesos de manufactura o fabricación que requieren uniones permanentes, se busca reducir los costos en el proceso de producción, disminuyendo los insumos, pero manteniendo la calidad.

El problema en la industria consiste en que no existen parámetros adecuados para aprovechar al máximo la vida útil de cada uno de los electrodos para la soldadura por resistencia eléctrica, lo cual trae como consecuencia que los electrodos se desgasten, generando una disminución de la densidad de corriente y la formación de un punto de soldadura de baja resistencia, adicionalmente aumentan en los costos por electrodos y consumo de energía.

Por estas razones se quiere establecer los parámetros más convenientes de soldadura de acuerdo a la geometría de los electrodos, para maximizar la vida útil del electrodo empleando el proceso de soldadura por electro punto.

Se busca la determinación de los parámetros mas adecuados para el proceso de soldadura por resistencia eléctrica, para un aumento de la vida útil y mejores condiciones de trabajo para los electrodos en la soldadura por electro punto.

La manera con la cual se evaluó la vida útil de los electrodos, se considero de tipo experimental porque se verificaron las condiciones de operatividad del



equipo de soldadura por electropunto a través de ensayo de campo, se realizaron 5 punto de soldadura por cada intensidad de corriente y tiempo de soldadura seleccionado.

Con el propósito de comparar el comportamiento de los electrodos cuanto a deformación severa, al ser sometido a trabajo sin el sistema de enfriamiento y para comparar su durabilidad a ser sometido a trabajo con el sistema de enfriamiento; se empleo el ensayo destructivo peel con toma de muestras por cada 30 punto de soldadura en las láminas, para medir los diámetros perpendiculares de la huella de soldadura y además se midió el diámetro de la cara del electrodo así, como la altura desde la cara a la base del porta electrodo, se registraron los datos observados en los ensayos, para realizar los análisis y cálculos correspondientes para obtener las graficas de temperaturas vs número de punto y porcentaje de deformación vs número punto de soldadura.

Se tomo como criterio una reducción de más de 20% en el diámetro obtenido de la pepita de soldadura en comparación con el diámetro esperado según las condiciones iniciales de uso del electro como el final de la vida útil de dicho electrodo.

I.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo varía la vida útil de electrodos en la soldadura de bronce por resistencia eléctrica?



I.4 OBJETIVOS

I.4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la vida útil de electrodos en la soldadura de bronce por resistencia eléctrica aplicando el método de electropunto.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Se realizaron ensayos de soldadura en láminas de bronce por resistencia eléctrica variando la intensidad de corriente.
- ❖ Se realizaron ensayos de soldadura en láminas de bronce por resistencia eléctrica variando el tiempo de soldadura.
- ❖ Se realizaron ensayos de soldadura en láminas de bronce por resistencia eléctrica variando la geometría del electrodo (sin enfriamiento).
- ❖ Se realizaron ensayos de soldadura en láminas de bronce por resistencia eléctrica variando la geometría del electrodo (con enfriamiento).
- ❖ Se determinó los parámetros más adecuados para el proceso de soldadura por electropunto tomando en cuenta la vida útil de los electrodos.

I.5 JUSTIFICACIÓN

Actualmente en la industria de procesos de manufactura, se busca reducir los costos en el proceso de producción, la soldadura por electropunto por efectividad y simplicidad tiene un puesto privilegiado en la industria automotriz, electrodomésticos y otras más. Por lo cual la determinación de sus parámetros



óptimos en la ejecución de la soldadura, constituye un mejor rendimiento en cuanto a la extensión de la vida útil de los electrodos, lo que repercute en la disminución de los costos de producción de cualquier empresa que utilizan este método de unión permanente.

Por medio de este estudio en láminas de bronce se sigue manteniendo la relación de investigación, por parte de la Universidad de Carabobo, con la aplicación práctica; por parte de la industria, para el mejoramiento en los procesos de soldadura, lo cual constituye mejoras en el sector manufacturero, especialmente el metalmecánica.

1.6 LIMITACIONES

- ❖ Disponibilidad de usar el laboratorio de proceso de fabricación, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.
- ❖ Falta de recursos para realizar los ensayos

1.7 DELIMITACIONES

- ❖ Los parámetros se determinaron exclusivamente para láminas de bronce.
- ❖ Láminas de medio milímetro (0.5mm) de espesor para la soldadura.
- ❖ El estudio se realizó solo para un modelo de máquina de soldadura por resistencia eléctrica tipo electropunto.
- ❖ El estudio se enfoca en dos tipos de geometría en los electrodos, cara plana y redonda



II. MARCO TEORICO

A continuación se presentan los fundamentos teóricos del proceso de soldadura por resistencia eléctrica, estos se basan en información recopilada de proyectos experimentales que anteceden la presente investigación, así como textos, catálogos y otras reseñas descargadas de páginas la web.

II. 1. Antecedentes de la investigación

II.1.1. antecedente I

Enríquez y Malavé (2004).Determinar la relación entre la geometría y la vida útil de los electrodos en la soldadura por resistencia eléctrica.

El presente trabajo contempla que el enfriamiento es la condición mas crítica para aumentar la vida útil de los electrodos y que el tipo de punta tipo puntiagudo (A) se caracteriza por sufrir mayor desgaste en condiciones de trabajo similar con y sin enfriamiento, comparada con la punta de tipo Domo (B), lo cual se corrobora con el análisis de esfuerzos y transferencia de calor obtenido a través del análisis de elementos finitos desarrollado, demostrando que la punta tipo puntiagudo (A), esta sometida a condiciones de presión y temperatura más severas en comparación con la punta tipo Domo (B), lo que incide en un desgaste progresivo más rápido al trabajar con aceros desnudos.

II.1.2. Antecedente II

Aular. M y Hernández .A (2005). Determinación de la relación entre la geometría y la vida útil del os electrodos en la soldadura por electropunto.

En este trabajo se estudiaron dos espesores de láminas de soldar, dos geometrías de la puntas de los electrodos y dos procesos de enfriamiento para los electrodos. Con miras a obtener el conocimiento que permita ampliar el número de



puntos a soldar por un par de electrodos antes que el deterioro los haga inservible, se experimentó de diversas formas hasta acabar sus vidas útiles.

Para espesores de 0,09mm utilizar preferentemente electrodos con punta tipo domo en lugar de los puntiagudos. - Para espesores de 0,07mm utilizar preferentemente electrodos con puntas tipo puntiaguda. – Mantener la temperatura de los electrodos por debajo de los 170 °C. Adicionalmente se plantea una ecuación matemática que modela el comportamiento físico del proceso de deterioro de los electrodos. Su uso permitirá predecir el final de la vida útil de los electrodos requerido menores costo en el control del deterioro y extendido el uso del electrodo hasta el límite de calidad aceptable del proceso.

II.1.3. Antecedente III

S. Fukumoto, I. Lum, E. Biro, D. R. Boomer and Y. Zhou (2003). Effects of electrode degradation on electrode life in resistance spot welding of aluminium alloy 5182. (Efectos de la degradación en la vida del electrodo en la soldadura por electropunto en la aleación de aluminio 5182).

Las pruebas de la resistencia del electrodo se realizaron para investigar los efectos de la degradación del electrodo en la vida del electrodo en la soldadura por electropunto de aleación de aluminio de hoja 1,5 mm espesor 5182 usando electrodos con diámetros de la punta-cara de 10mm y radio de la curvatura de 50mm. La vida observada del electrodo se extendió de cerca de 400 a 900 puntos aunque todas las condiciones del proceso se mantuvieron intencionalmente constantes.

Sin embargo, a pesar de las grandes variaciones, distintos patrones fueron encontrados para poner en correlación la vida de electrodo y la degradación del electrodo en términos del cambio en el área nominal de la punta-cara del electrodo y las áreas de contacto electrodo/hoja (E/S) y la interfaz hoja/hoja (S/S). La reducción de la fuerza en la junta común ocurrió debido a la formación de tamaño insuficiente de la huella de soldadura debido a las áreas de contacto crecientes y por lo tanto redujeron densidad de corriente.



La degradación del electrodo se puede supervisar por el aumento en las tres áreas (área nominal de la punta-cara, y las áreas de contacto de E/S y de S/S), pero el área de contacto de E/S se cree para ser la más conveniente porque un mínimo de trabajo adicional es necesario medirlo. El diámetro del botón de soldadura, medido por la prueba “peel”, es afectado por el diámetro de la cara (densidad de corriente) y posiblemente otros factores, tales como expulsión de la soldadura y distribución de la porosidad.

II.1.4. Antecedente IV

S. S. Babu, M. L. Santilla y W, A. Peterson (200). Modeling Resistance Spot Welding Electrode Life. (Modelación de la vida del electrodo de soldadura por electropunto).

El deterioro del electrodo durante la soldadura de electropunto de aceros revenidos de aluminios es un problema conocido. Ha habido muchas tentativas de modelar la respuesta de la deformación termoeléctrica de electrodos mediante el uso de elementos finitos sin embargo, el uso de tales modelos para vida ampliada mayor de 500 soldaduras es limitado.

En la investigación, se ha desarrollado un modelo semiempírico para predecir la vida de electrodo como una función de las características (propiedades) del electrodo y temperaturas máximas alcanzadas en el interfaz de acero de electrodo.

Aproximación técnica:

En este modelo, suponemos que la deformación en la interfaz de cobre estará limitada por su tensión de fatiga en el comportamiento constitutivo durante la temperatura máxima., por la acumulación secuencial, el aumento del diámetro del electrodo con el número de soldaduras fue descrito. Un método de diferencias finitas simples acoplado con el modelo de resistencia de contacto fue usado describe la temperaturas máximas alcanzadas en interfaz acero-cobre como función de la densidad de corriente.

El primer paso en el modelamiento el enfoque debería describir el efecto de la



temperatura en la fuerza del rendimiento de la materia. En el próximo paso, el modelo requiere la descripción de una temperatura media máxima lograda por la interna cobre- acero como una función de la densidad de corriente. El modelo previamente publicado de la resistencia del contacto que la relaciona la fuerza de electrodo, soldando la carga y la temperatura se emparejaron con el modelo finito de la diferencia.

El modelo también uso la fuerza de deterioro del electrodo experimentalmente determinado los números de ciclos de soldadura. Con este acercamiento, el aumento del diámetro de cara de electrodo como una función de número de soldaduras fue predicho. El análisis paramétrico que usa el modelo mostró la sensibilidad de vida de electrodo para tanto ceder la fuerza en la temperatura ambiente y la tasa que se ablanda con la temperatura. La validez del modelo para condiciones diferentes es evaluada con medidas experimentales de electrodos diferentes de soldadura.

II.1.5. Antecedente V

Williams N. T. y Parker J. D. (2004). Part 2 Factors influencing electrode life. (Segunda parte. Factores que influyen la vida del electrodo).

Mientras varias técnicas basadas en modelos teóricamente derivados se han utilizado para el control del crecimiento de soldadura. Muy pocos han encontrado la aplicación extendida en cualquier filosofía de control de la producción. Una vida corta necesita preparación frecuente de electrodo o cambiarlo, teniendo como resultado las tasas más bajas de producción y costo más altos. También la calidad de la soldadura es más variable hacia el fin de la vida de un electrodo, al soldar especialmente un acero revenido. El deterioro del electrodo causa el crecimiento del diámetro de punta de electrodo y determina el empeoramiento en la calidad de soldadura en operaciones de producción.

Las variables de la producción que influyen la vida de electrodo incluyen el las condiciones de comienzo de la soldadura y el diámetro de punta de electrodo.

El equipo y el diseño de la máquina de soldar también determinan la vida útil



del electrodo, parámetros importantes como son:

a) las características mecánicas de la unión de cabeza de electrodo definida en términos de la relación de tiempo de la fuerza desarrollada en la aplicación de la fuerza de soldadura (efectos friccionales y la rigidez mecánica son importantes en este contexto).

b) la configuración de transformador secundario ejemplo la serie, el tirón de empuje, la soldadura indirecta y paralela. Se ha desmotado que el crecimiento del electrodo puede ser reducido por el revestimiento/ maquinado del electrodo a su diámetro original en intervalos predeterminados.

Enfoques alternativos que han sido investigados indican que el crecimiento de electrodo puede ser acomodado aumentando la corriente de soldar en intervalos predeterminados en todas partes de la vida. La optimización del programa de pasos de corriente es esencial para obtener ventajas máximas.

II.1.6. Antecedente VI

F. Lu y P. Dong (1999) Model for estimating electrode face diameter during resistance spot welding (Modelo para la estimación del diámetro de cara del electrodo durante la soldadura por electropunto).

Un modelo matemático se ha construido para predecir el diámetro de la cara del electrodo en varias etapas de la vida del electrodo. El modelo relaciona el proceso de la evolución de la cara del electrodo con los parámetros del diseño y la soldadura del electrodo tales como corriente de la soldadura, fuerza del electrodo, etc. Requiere una cantidad mínima de datos experimentales para determinar la constante numérica en el modelo, que caracteriza la tasa del desgaste del electrodo. Para validar el modelo, fueron utilizados datos de las constantes de corriente de soldadura en pruebas de la vida útil del electrodo.



II.2. Bases teóricas

II.2.1. Importancia de la soldadura por resistencia eléctrica.

La soldadura por resistencia eléctrica data del año 1877, este procedimiento cumple con la teoría de que la casualidad sólo favorece a la mente preparada ya que durante un experimento que se estaban realizando en el Instituto Franklin, dos extremos de bobina quedaron soldados al paso de la corriente, este hecho dio paso a un proceso de investigación que dio como resultado la soldadura entre dos metales en contacto mediante el paso de corriente entre ellos. Existen registros de que el tipo de soldadura en cuestión se empezó a aplicar de forma industrial en la fijación de asas, mangos de ollas e implementos de cocina para el año 1888.

Una vez más este proceso no escapa de unas de las realidades más influyentes en el desarrollo de la tecnología, la guerra, ya que no fue hasta la segunda guerra mundial cuando el avance en su técnica y utilización fue vertiginoso, fundamentalmente en las empresas que se encargaban de suplir las necesidades del ejército norteamericano, carrocerías de vehículos, armamento y aviación eran ensamblados bajo este proceso. Hoy en día las industrias de ensamblaje automotriz son las pioneras en el uso de este tipo de soldadura, cabe destacar que estas máquinas de soldadura por resistencia eléctrica son equipos altamente tecnificados que también se encargan de ensamblaje y armado de partes, siendo la neumática hidráulica y electrónica las tecnologías que soportan su funcionamiento principal.

II.2.2. Principio de funcionamiento.

Las operaciones de soldadura de puntos implican la aplicación coordinada de corriente eléctrica y presión mecánica con las magnitudes y duraciones adecuadas. La corriente de soldadura debe pasar entre los electrodos atravesando el material a unir y



su continuidad se asegura mediante fuerzas aplicadas a los electrodos. La secuencia de operación debe, en primer lugar, generar suficiente calor para llevar un volumen confinado del metal al estado fundido, la cual permite que este metal se enfríe bajo presión hasta que tenga la fuerza suficiente para mantener unidas las piezas.

La densidad de corriente y la presión deben ser suficientes para formar una pepita, pero no tan altas que el metal fundido sea expulsado de la zona de soldadura. La duración de la corriente debe ser lo bastante corta como para evitar un calentamiento excesivo de las caras de los electrodos, pues semejante calentamiento podría pegar los electrodos al trabajo y reducir considerablemente su vida útil.

El calor requerido para estos procesos de soldadura por resistencia eléctrica se produce por la resistencia que oponen las piezas de trabajo al paso de una corriente eléctrica por el material. Debido a lo relativamente corto del trayecto de la corriente eléctrica en el material y a lo limitado del tiempo de soldadura, se requieren corrientes relativamente altas para generar el calor necesario para la soldadura.

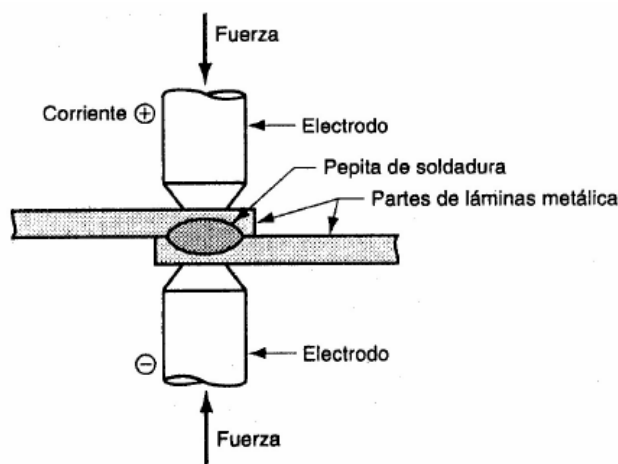


Fig. II.1. Esquema del principio de funcionamiento de la soldadura de puntos. Fuente (RI,Ó Brien. Manual de soldadura Tomo II)



II.2.3. El calor en la soldadura por resistencia eléctrica

En un proceso de soldadura por resistencia eléctrica el calor generado en un conductor eléctrico depende de tres factores; La intensidad de flujo eléctrico, la resistencia de conducción de la corriente, que incluye el paso de la misma por el electrodo y por medio del material a soldar y la duración de la *corriente*. Estos tres factores afectan el calor generado en la forma expresada por la ecuación.

$$Q = I^2 \times R \times t \quad (\text{Ec.1})$$

Q = Calor (Joules)

I = Intensidad de la corriente (Amperios)

R = Resistencia del trabajo (Ohm)

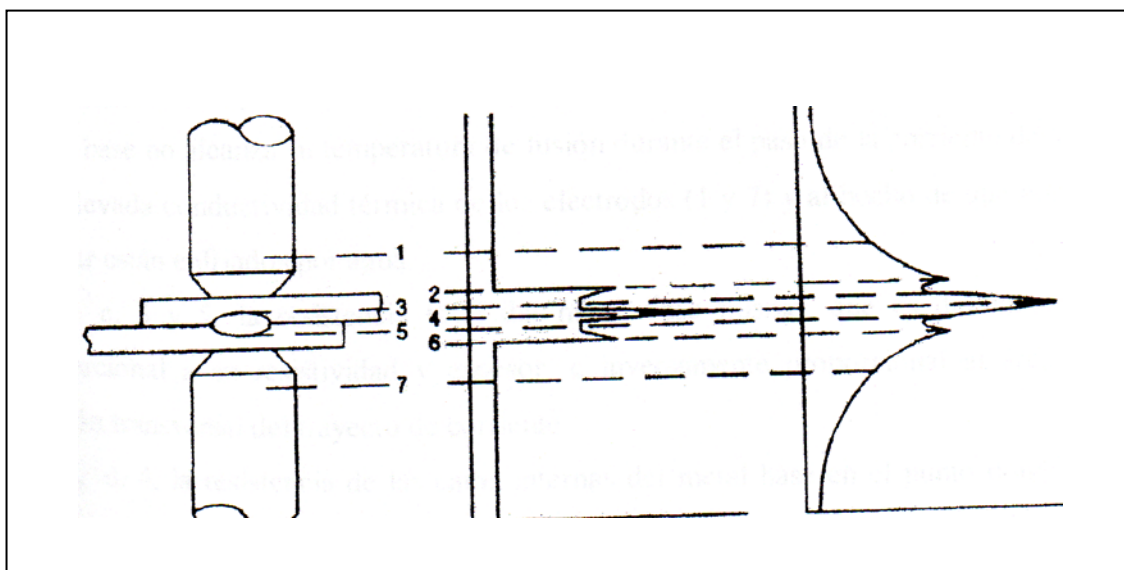
t = Tiempo de circulación de la corriente (Segundos)

La corriente requerida para producir una soldadura dada es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del tiempo. Así pues, si el tiempo es extremadamente corto, la corriente requerida será muy alta. Una combinación de corriente elevada y tiempo insuficiente puede dar pie a una distribución indeseable de calor en la zona de soldadura, produciendo una fusión excesiva de la superficie y un rápido deterioro de los electrodos. **Fuente (RI,Ó Brien. Manual de soldadura Tomo II).**

El circuito secundario de una máquina de soldadura de resistencia y los materiales soldados constituyen una serie de resistencias, en donde la resistencia total del trayecto afecta la magnitud de la corriente. La corriente será la misma en



todo el circuito, independientemente de la resistencia instantánea en cualquier punto del circuito, pero el calor generado en un punto dado del circuito es directamente proporcional a la resistencia en ese punto. En la fig. II.2 se ilustra la distribución de la temperatura en el trabajo y los electrodos de soldadura de electropunto.



Resistencia Mecánica

Temperatura

Fig. II. 2. Gráficas de resistencia mecánica y temperatura en términos de la posición dentro del circuito diagramado. Fuente (Rl,Ó Brien. Manual de soldadura Tomo II).

De hecho, en una soldadura hay por lo menos siete resistencias conectadas en serie que determinan la distribución de temperatura. En el caso de una unión de dos espesores, son las siguientes:



- A) 1 y 7, la resistencia eléctrica del material del electrodo,
- B) 2 y 6, la resistencia de contacto entre el electrodo y el metal base. La magnitud de esta resistencia depende de la condición superficial del metal base y del electrodo, del tamaño y el contorno de la cara del electrodo, y de la fuerza del electrodo. (La resistencia es aproximadamente inversamente proporcional a la fuerza de contacto.) Este es un punto de considerable generación de calor, pero la superficie del metal base no alcanza su temperatura de fusión durante el paso de la corriente debido a la elevada conductividad térmica de los electrodos (1 y 7) y al hecho de que por lo regular están enfriados por agua,
- C) 3 y 5, la resistencia total del metal base mismo, que es directamente proporcional a su resistividad y espesor, e inversamente proporcional al área de sección transversal del trayecto de corriente.
- D) 4, la resistencia de las caras internas del metal base en el punto donde se formará la soldadura. Este es el punto de mayor resistencia y, por tanto, el punto donde se genera más calor. Puesto que también se genera calor en los puntos 2 y 6, el calor generado en las caras internas 4 no tiende a fugarse a los electrodos.

En todos estos puntos se genera calor, no sólo en las caras internas de los metales base. El flujo de calor desde las caras internas de los metales base, o hacia ella, está regido por el gradiente de temperatura establecido por el calentamiento por resistencia de los diversos componentes del circuito. Esto a su vez promueve o retarda la creación del calor de soldadura localizado que se requiere.

El calor de soldadura solo se requiere en las caras internas de los metales base, y el calor generado en todos los demás sitios se debe reducir al mínimo. Puesto que la resistencia más alta está en 4, el calor aparece con mayor rapidez en ese lugar. Los



puntos que le siguen en resistencia son 2 y 6 la temperatura también se eleva rápidamente en estos puntos, pero no tanto como en 4. Después de transcurrido cerca del 20% del tiempo de soldadura, el gradiente de calor probablemente se ajuste al perfil que se muestra en la figura II.2. El calor generado en 2 y 6 se disipa rápidamente hacia los electrodos adyacentes 1 y 7, enfriados por agua. El calor en 4 se disipa con mucha mayor lentitud hacia el metal base. Por tanto, mientras la corriente de soldadura continúe, la velocidad de elevación de la temperatura en el plano 4 será mucho más rápida que en 2 y 6. La temperatura de soldadura se indica en el diagrama de la derecha de la figura II.2. con el número de puntos dentro del dibujo que conducen a la curva correspondiente.

Los factores que afectan la cantidad de calor generado en la unión por una corriente dada para una unidad de tiempo de soldadura son las resistencias eléctricas entre el metal soldado y los electrodos, las resistencias de contacto entre las piezas de trabajo y los electrodos y también la pérdida de calor hacia los electrodos y las piezas de trabajo.

II.2.4. Variables principales que influyen en la soldadura por resistencia eléctrica y sus efectos.

II.2.4.1. La intensidad de corriente.

En la conducción eléctrica la generación de calor se rige por la expresión algebraica que define la [Ec. 1], de este término podemos deducir que la intensidad de corriente causa un efecto mucho mayor sobre la generación de calor que la resistencia al flujo eléctrico o que el tiempo de aplicación de la corriente; por tanto, es de vital importancia mantener dicha variable bajo control para así obtener los resultados



deseados en la soldadura por resistencia eléctrica ya que una densidad de corriente excesiva causa la expulsión del metal fundido, produciendo perforaciones, agrietamiento de la soldadura y menor resistencia mecánica. Existen dos factores que causan variaciones en la corriente de soldadura, estos son las fluctuaciones en el voltaje de línea (alimentación del equipo de soldar) y las variaciones en la impedancia del circuito secundario en las máquinas de corriente alterna. Las variaciones de la impedancia se deben a cambios en la geometría del circuito o a la introducción de masas variables de metales magnéticos en el lazo secundario de la máquina. Las máquinas de corriente continua no son afectadas significativamente por la presencia de metales magnéticos en el lazo secundario ni por la geometría del circuito.

Otro término a tomar en cuenta es la densidad de corriente, además de las variaciones que pueden suceder en la magnitud de la corriente de soldadura, la densidad de corriente puede variar en las caras internas de soldado. En la mayoría de los casos la disminución de la misma se debe a la desviación de la corriente por soldaduras anteriores y puntos de contacto distintos del punto de soldadura, otra de las razones más comunes es el aumento en el área de la cara de los electrodos esto reduce la densidad de corriente y el calor de soldadura generando un decremento significativo de la resistencia mecánica de la soldadura.

Para la soldadura por resistencia eléctrica existen equipos de soldadura de energía continua, en estos la velocidad de ascenso y caída de la corriente se puede programar. El intervalo de tiempo en el que ocurre la elevación de la corriente suele recibir el nombre de tiempo de pendiente positiva, y al intervalo de caída de la corriente se le llama tiempo de pendiente negativa.

Antes de la soldadura, el metal base es precalentado con una corriente baja. La pendiente positiva tiene como finalidad evitar un sobrecalentamiento y expulsión de



metal al principio del tiempo de soldadura, de esta forma se evita el choque térmico repentino que además de generar frecuentes expulsiones de material en forma de chispas puede alterar de forma definitiva las propiedades del metal, este procedimiento es ideal cuando la resistencia de la zona interna de contacto del metal base es alta. La pendiente negativa sirve para que ocurra una solidificación gradual de la pepita de soldadura y evitar el agrietamiento en el caso de metales endurecibles por templado. Después de la formación de la pepita de soldadura, la corriente puede reducirse a un nivel menor para el post-calentamiento de la zona de soldadura.

II.2.4.2. El tiempo de soldadura.

En la soldadura por resistencia eléctrica la velocidad de generación de calor debe ser tal que se produzcan soldaduras con la resistencia mecánica adecuada sin un calentamiento excesivo ni deterioro precoz de los electrodos. Debido a que el calor total generado es proporcional al tiempo de soldadura un tiempo de soldadura demasiado largo surtirá el mismo efecto sobre el metal base y los electrodos que un amperaje excesivo, además la zona térmicamente afectada de la soldadura se extenderá a mayor distancia en el metal base.

El calor se transfiere por conducción hacia el metal base circundante y los electrodos; una cantidad muy pequeña se pierde por radiación. Durante una operación de soldadura de puntos, se requiere un cierto tiempo mínimo para alcanzar la temperatura de fusión con una densidad de corriente adecuada. Si se sigue aplicando corriente, la temperatura en la pepita de soldadura en formación excederá por mucho la temperatura de fusión, y es posible que la presión interna expulse metal fundido de la soldadura.

Según el diseño del equipo de trabajo el tiempo de aplicación de la corriente, o tiempo de soldadura se controla mediante dispositivos electrónicos, mecánicos,



manuales o neumáticos. Los tiempos normalmente van desde medio ciclo (1/120s) para láminas muy delgadas hasta varios segundos para placas gruesas. En las máquinas de energía almacenada del tipo de condensador o magnéticas, el tiempo de soldadura lo determina la constante eléctrica del sistema.

II.2.4.3. La presión de soldadura.

La presión que ejercen los electrodos sobre el material de trabajo al momento de soldar tiene un efecto inversamente proporcional sobre la resistencia al flujo eléctrico, la misma disminuye como consecuencia de la disminución la resistencia de contacto en la zona entre las piezas de trabajo. Se considera que la fuerza ejercida es la fuerza dinámica neta de los electrodos contra el trabajo, y es la presión resultante de esta fuerza la que afecta la resistencia de contado.

Si todos los demás factores son iguales, al aumentar la fuerza de los electrodos la presión de soldadura y el amperaje también aumentará hasta *algún valor límite*, en caso de ser necesario incrementar el calor hasta el nivel previo se precisaría aumentar el amperaje o el tiempo de soldadura para compensar la reducción en la resistencia eléctrica.

El cierre del circuito eléctrico a través de los electrodos y el trabajo se asegura mediante la aplicación de una fuerza con los electrodos. Esta fuerza se produce con dispositivos hidráulicos, neumáticos, magnéticos o mecánicos. La presión ejercida en la interfaz depende del área de las caras de los electrodos que están en contacto con las piezas de trabajo.

Las funciones de esta fuerza o presión son:

1. Establecer un contacto íntimo entre las diversas caras internas.
2. Reducir la resistencia de contacto inicial en las caras internas.



3. Suprimir la expulsión de metal fundido de la unión.
4. Consolidar la pepita de soldadura.

Las fuerzas pueden aplicarse durante el ciclo de soldadura de la siguiente manera:

1. Una fuerza de soldadura constante
2. Fuerzas de precompresión y soldadura: un nivel inicial alto para reducir la resistencia de contacto inicial y poner las piezas en contacto íntimo, seguido de un nivel menor para soldar.

3-Fuerzas de precompresión, soldadura y forjado: un nivel inicial alto para reducir la resistencia de contacto inicial y poner las piezas en contacto íntimo, seguido de un nivel menor para soldar, seguidos por una fuerza de forjado cerca del final del tiempo de soldadura; el forjado sirve para reducir la porosidad y el agrietado en caliente de la pepita de soldadura.

4-Fuerzas de soldadura y forjado: un nivel de presión media para soldar seguido por una fuerza de forjado cerca del final del tiempo de soldadura.

4-Cabe destacar la existencia de un conjunto de variables que tienen gran influencia en el resultado final de la soldadura por resistencia eléctrica y que a pesar de no ser las principales que rigen matemáticamente el proceso calorífico intrínseco en la misma tienen efectos apreciables en el resultado final, dichas variables son:

II.2.4.4. Los electrodos.

Los electrodos desempeñan un papel vital en la generación de calor porque conducen la corriente de soldadura al trabajo. En el caso de la soldadura de puntos



el área de contacto de los electrodos controla en gran medida la densidad de la corriente de soldadura y el tamaño de la soldadura resultante. Los electrodos deben tener buena conductividad térmica y a su vez la resistencia mecánica y dureza adecuadas para resistir los esfuerzos que generan la aplicación repetida de una fuerza de compresión elevada.

La calidad de la soldadura disminuye una vez que las puntas de los electrodos tienen un porcentaje considerable de desgaste y deformación; por ello, es preciso rectificar o reemplazar los electrodos cada cierto tiempo con el fin de mantener una generación de calor adecuada para obtener soldaduras con propiedades satisfactorias.

Los electrodos son usados de cobre, porque, comparado con la mayoría de los metales, el cobre tiene una resistencia eléctrica mas baja y una conductividad térmica mas alta, esto asegura que el calor será generado en la pieza de trabajo y no en los electrodos. Cuando estos electrodos se calientan mucho, se pueden formar marcas de calor sobre la superficie del metal. Para prevenir este problema los electrodos son enfriados con agua, el agua fluye por dentro de los electrodos disipando el exceso de calor.

Tabla N° II.1. Propiedades térmicas de los metales

Metal	Conductividad Térmica (W/m-K)	Resistividad Eléctrica (Ohms-cm)	Punto de Fusión (°C)
Acero 1020	52	17.4 E6	1500
Aluminio	190	5.0 E6	620
Zinc	112	5.9 E6	420
Cobre	385	1.7 E6	1085

Fuente (UMSS - Facultad de Ciencias y Tecnología)



Las soldaduras por resistencia dependen del grado de conductividad eléctrica del metal a ser soldado, mas que de la soldabilidad, en el caso de la soldadura de electropunto, mejorar esa conductividad al máximo es la meta principal al momento de diseñar el equipo, para incrementar la conductividad los electrodos están sujetos por dos brazos que funcionan como prensas y que someten a los electrodos a una gran presión uno en contra del otro, las laminas metálicas que van a ser soldadas se colocan entre los electrodos que presionan fuertemente asegurando el contacto y una corriente de bajo voltaje y alto amperaje, que por la diferencia que existe en el vector entre estas, se mide en KVA (kilo voltios-amperios) esto genera una constante entre los dos valores y da un punto de medición para la clasificación de los equipos.

II.2.4.5. La superficie.

El acabado y condiciones de limpieza en que se encuentran las superficies del material a soldar influye en la generación de calor, los óxidos, impurezas, aceites y otras sustancias ajenas en las superficies afectan la resistencia de contacto. Las mejores soldaduras se obtienen cuando las superficies están limpias, allí se logran las propiedades mecánicas más uniformes y con los mejores acabados finales.

La existencia de una capa no uniforme de óxido, incrustaciones u otras sustancias ajenas en la superficie de las piezas a soldar produce variaciones en la resistencia de contacto y trae como consecuencia inconsistencias en la generación de calor, en muchos casos se observa como las incrustaciones existentes en el metal de trabajo pasan a las caras del electrodo contribuyendo con su deterioro por desgaste y deformación. El aceite y la grasa son excelentes recubrimientos para evitar la corrosión en el metal de trabajo, sin embargo deben ser retirados para así eliminar la suciedad que se adhiere a los mismos ya que esta contribuye al



.deterioro de los electrodos.

II.2.4.6. La composición del metal.

La composición de un metal determina su calor específico, temperatura de fusión, calor latente de fusión y conductividad térmica. Estas propiedades controlan la cantidad de calor requerida para fundir el metal y producir una soldadura.

II.2.4.6.1 Bronce.

Bronce es el nombre con el que se denomina toda una serie de aleaciones metálicas que tienen como base el cobre, combinado con un 3 a 20% de estaño y proporciones variables de otros metales como zinc, aluminio, antimonio, o fósforo. Los elementos con características de dureza superiores al cobre permiten mejorar sus propiedades mecánicas.

Las aleaciones constituidas en forma preponderante por cobre y zinc se denominan latón: sin embargo, teniendo en cuenta que la composición moderna por lo general incluye tanto zinc como estaño, la diferencia exacta entre ambos nombres no está bien determinada, especialmente en el lenguaje coloquial.

Fue la primera aleación de importancia obtenida por el hombre, definiendo el período prehistórico conocido como Edad de bronce. Sus aplicaciones incluyen partes mecánicas resistentes al roce y a la corrosión, instrumentos musicales de buena calidad como campanas, gongs, saxofones, y se la utiliza así mismo para fabricar cuerdas de pianos, arpas y guitarras. Durante milenios fue la aleación básica para la fabricación de armas y utensilios, y orfebres de todas las épocas lo han utilizado en joyería, medallas y escultura. Las monedas acuñadas con aleaciones de bronce tuvieron un protagonismo relevante en el comercio y la economía mundial.



El término **bronce** deriva probablemente del Persa "*biring*", (cobre). Otras versiones lo relacionan con el latín "*aes brundisium*" (mineral de Brindisi) por el antiguo puerto de Brundisium. Se cree que la aleación puede haber sido enviada por mar a este puerto, y desde allí distribuida a todo el Imperio romano¹.

II.2.4.6.2 Propiedades.

Exceptuando al acero, las aleaciones de bronce son superiores a las de hierro en casi todas las aplicaciones⁴. Por su elevado calor específico, el mayor de todos los sólidos, se emplea en aplicaciones de transferencia del calor

II.2.4.6.3 Comparación entre bronce y aceros.

Aunque desarrollan pátina no se oxidan bajo la superficie, son más frágiles y tienen menor punto de fusión. Son aproximadamente un 10% más pesadas que el acero, a excepción de las compuestas por aluminio o sílice. También son menos rígidas, por lo tanto en aplicaciones elásticas como resortes acumulan menos energía que las piezas similares de acero. Resisten la corrosión, incluso la de origen marino, el umbral de fatiga metálica es menor, y son mejores conductores del calor y la electricidad.

Otra característica diferencial de las aleaciones de bronce respecto al acero, es la ausencia de chispas cuando se le golpea contra superficies duras.

II.2.4.6.4 Versatilidad.

El cobre y sus aleaciones tienen una amplia variedad de usos como resultado de la versatilidad de sus propiedades mecánicas, físicas y químicas. Téngase en cuenta, por ejemplo, la conductividad eléctrica del cobre puro, la excelente maleabilidad de los



cartuchos de munición fabricados en latón, la baja fricción de aleaciones cobre-plomo, la sonoridad del bronce para campanas y la resistencia a la corrosión de la mayoría de sus aleaciones. Bronce latón

II.2.4.6.5 Propiedades físicas.

Datos para una aleación promedio 89 % cobre y 11 % estaño:

- Densidad: 8,90 g / cm³.
- Punto de fusión: 830 a 1020 °C
- Coeficiente de temperatura: 0,0006 K⁻¹
- Resistividad eléctrica: 14 a 16 μOhm/cm
- Coeficiente de expansión térmica: entre 20 y 100 °C ---> 17,00 x 10⁻⁶ K⁻¹
- Conductividad térmica a 23 °C : 42 a 50 W^{m-1}

II.2.4.6.6 Propiedades mecánicas.

- Elongación: < 65%
- Dureza Brinell: 70 a 200
- Módulo de elasticidad: 80 a 115 GPa
- Resistencia a la cizalla: 230 a 490 MPa



➤ Resistencia a la tracción: 300 a 900 MPa Aleaciones comerciales

Código	Denominación	Composición %	Densidad gr/cm ³	Dureza Brinell	Mod.Elástico Gpa	Resist. elec. ohm/cm	Cond.térmica W/mK	Punto fusión C	Aplicaciones
SAE40 ¹¹		Cu 85 Pb 5 Sn 5 Zn 5	8,82	60	93	1,2⁻⁰⁵	71,9	854	
SAE64		Cu 80 Pb 10 Sn 10	8,88	60	76	1,7⁻⁰⁵	46,9	762	
UNS ¹² C22000	Comercial 90-10	Cu 89/91 Fe < 0,05 Pb < 0,05 Zn 12,5	8,80	53	115	3,91⁻⁰⁶	189	1020	matrices de impresión, laminados, tornillos
UNS C22600	Bronce de joyería	Cu 86/89 Fe < 0,05 Pb < 0,05 Zn 12,5	8,78	55	115	4,30⁻⁰⁶	173	1005	cremalleras, bijouterie, monedas
UNS C31400	Templado comercial con plomo	Cu 87,5/90,5 Fe < 0,1 Ni < 0,7 Pb 1,3/2,5 Zn 9,25 Otros < 0,05	8,83		115		180	1010	tornillos, contactores eléctricos, partes de herramientas
UNS C31600	Templado niquelado	Cu 87,5/90 Fe < 0,1 Ni 0,7/1,2 Ph 0,04/0,1 Pb 1,2/2,5 Zn 8,1	8,86		115		140	1010	tornillos, contactores eléctricos, partes de herramientas
UNS C40500	Bronce de alta conductividad	Cu 95 Sn 1 Zn 4							

Fuente (www.Wikipedia.com)

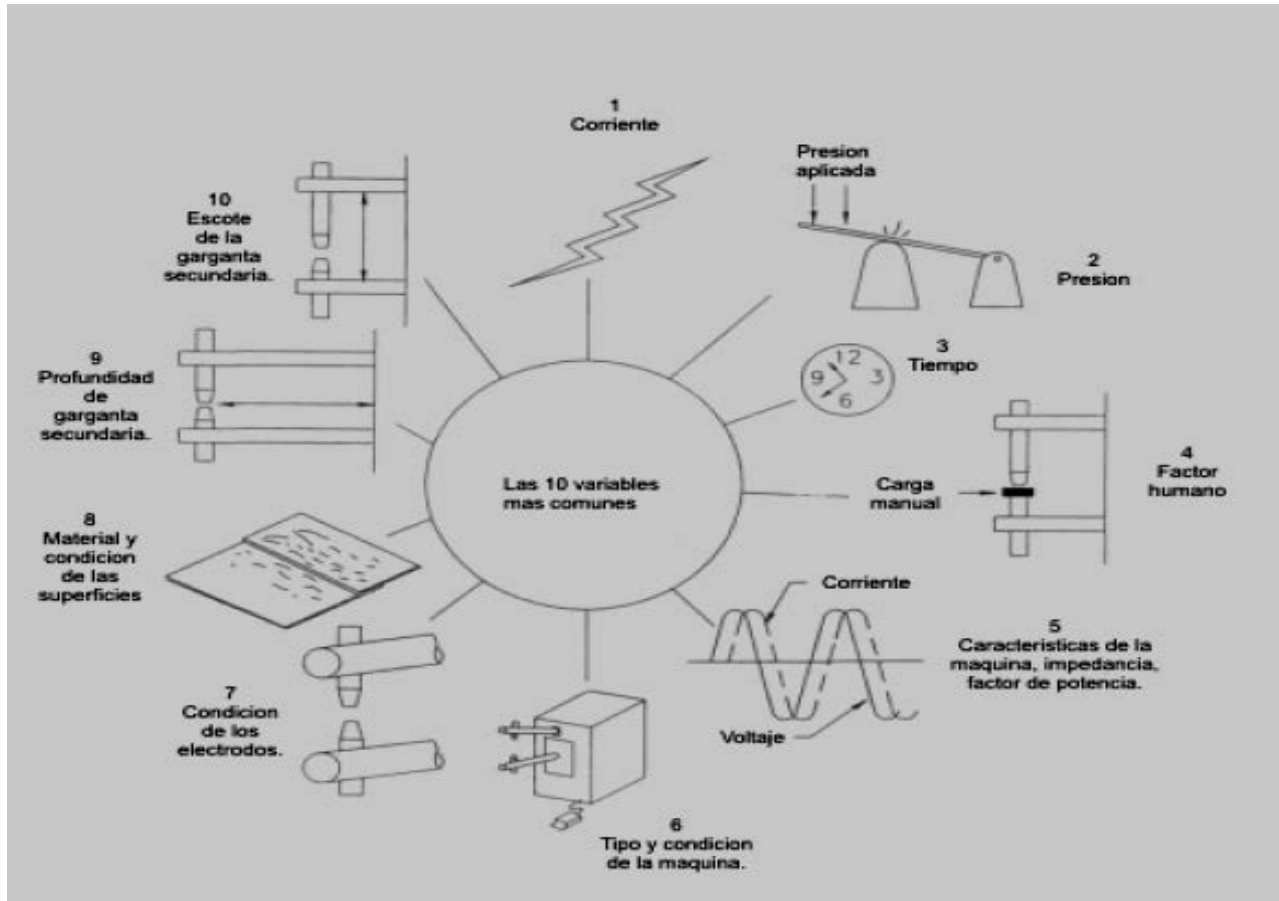


Fig. II.3. Las diez variables más comunes en la soldadura por resistencia.
Fuente (www.WELDNOZ-SYSTEM.COM)

II.2.5 Balance calorífico.

El equilibrio del calor ocurre cuando las profundidades de penetración en ambas piezas de trabajo son aproximadamente iguales. La mayor parte de las aplicaciones de soldaduras de punto se limitan a soldar espesores iguales del mismo metal, con electrodo de la misma aleación, forma y tamaño. En estos caso el balancee calorífico es simétrico; sin embargo, en muchas aplicaciones el calor generado en las piezas no esta equilibrado. El balance calorífico puede ser afectado por lo siguiente:



- La conductividad eléctrica y térmica relativa de los metales a unir.
- La geometría relativa de las piezas en la unión.
- La conductividad eléctrica y térmica de los electrodos.
- La geometría de los electrodos.

El calentamiento será desequilibrado cuando la composición, el espesor, o ambos parámetros sean significativamente distintos en las piezas a soldar. Según sea la naturaleza de los materiales a unir el balance calorífico puede optimizarse empleando el tiempo de soldadura más breve y la corriente más baja con los que se pueda producir soldaduras aceptables.

II.2.6. Disipación de calor.

Durante la soldadura hay pérdida de calor por conducción hacia el metal base adyacente y los electrodos, como se muestra en la figura II.2. Esta disipación de calor ocurre a diferentes velocidades durante la aplicación de la corriente y después, hasta que la soldadura se ha enfriado a temperatura ambiente

La disipación puede dividirse en dos fases: (1) durante la aplicación de la corriente y (2) después de interrumpida la corriente. El grado de disipación en la primera fase depende de la composición y la masa de las piezas de trabajo, del tiempo de soldadura y de los mecanismos de enfriamiento extremos.

Si los electrodos permanecen en contacto con el trabajo después de interrumpirse la corriente de soldadura enfrían rápidamente la pepita de soldadura. La velocidad de disipación del calor hacia el metal base circundante disminuye al aumentar el tiempo de soldadura porque se habrá calentado un volumen más grande el metal base. Esto reduce el gradiente de temperatura entre el metal base y la pepita de soldadura.

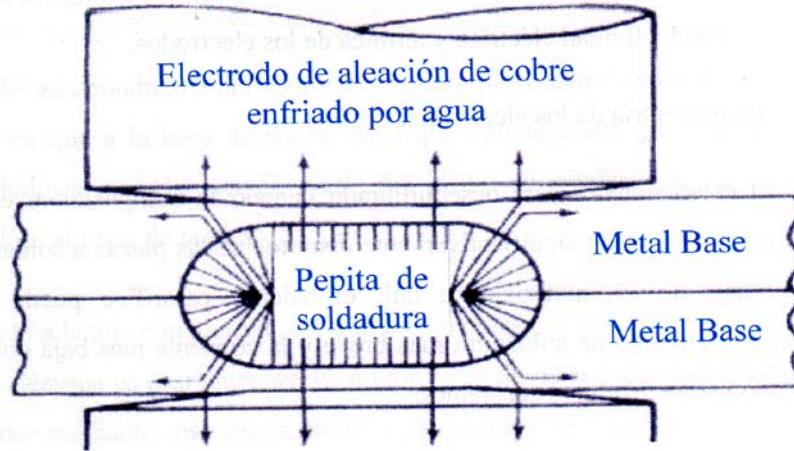


Fig. II.4. Disipación de calor hacia el metal base circundante y los electrodos durante la soldadura de resistencia. Fuente (RI,Ó Brien. Manual de soldadura Tomo II).

11.2.7. Ciclo de soldadura.

El ciclo para la soldadura de puntos consiste básicamente en cuatro fases:

- **Tiempo de compresión:** intervalo de tiempo entre el arranque del cronómetro y la primera aplicación de corriente; este lapso es para asegurar que los electrodos hagan contacto con el trabajo y ejerzan la fuerza máxima antes de aplicar la corriente de soldadura.
- **Tiempo de soldadura:** el tiempo durante el cual se aplica corriente de soldadura al trabajo cuando la soldadura es de un solo impulso.



- **Tiempo de retención:** el tiempo durante el cual se mantiene la fuerza aplicada al trabajo después del término del último impulso de corriente; durante este tiempo, la pepita de soldadura se solidifica y enfría hasta adquirir suficiente resistencia mecánica.
- **Tiempo inactivo:** el tiempo durante el cual los electrodos se despegan del trabajo y éste se desplaza hasta la siguiente posición de soldadura; este término generalmente se aplica cuando el ciclo de soldadura es repetitivo.

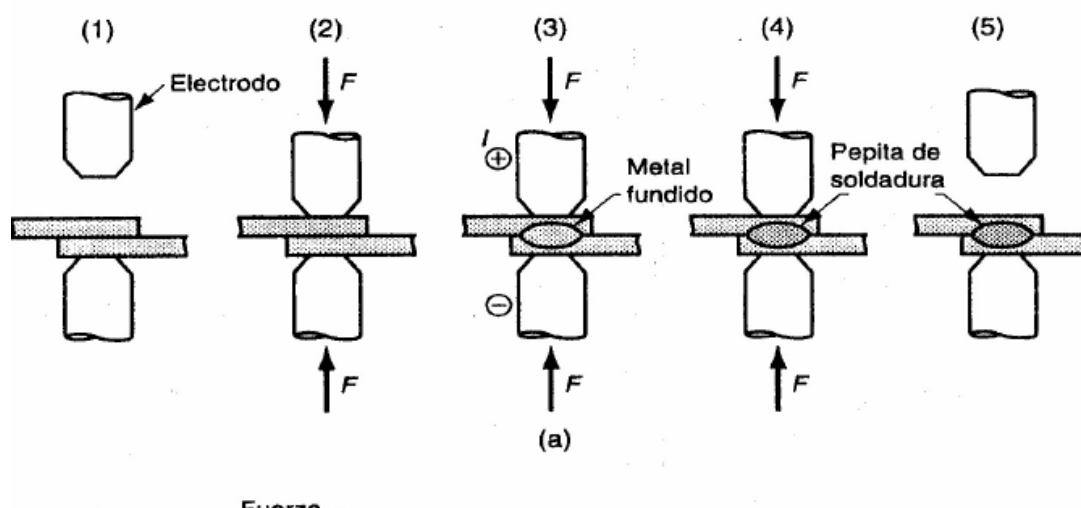


Fig. II.5 Fases del ciclo de la soldadura. Fuente(Juan Pereira 2002)

II.2.7.1. Mejoras en el ciclo básico de soldadura:

1. - Fuerza de precompresión para asentar los electrodos contra las piezas de trabajo.
2. - Precalentamiento, reduce el gradiente térmico en el metal al inicio de la



soldadura.

3. - Fuerza de forjado para consolidar la pepita de soldadura.
4. - Tiempos de enfriamiento y templado para producir soldaduras con la resistencia mecánica deseada en aceros de aleación endurecibles.
5. - Postcalentamiento para retinar el tamaño de grano de la soldadura en aceros.
6. - Decaimiento de corriente para retardar el enfriamiento en el bronce.

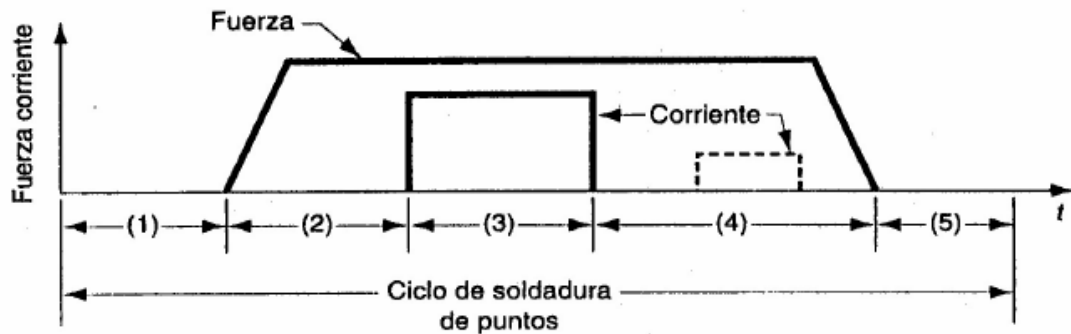


Fig. II.6 Ciclo de soldadura básica de un solo impulso para soldadura de Puntos y de proyección Fuente (Juan Pereira 2002)

II.2.8. Circuito eléctrico.

El circuito comprende un transformador de soldadura, un contacto primario y un circuito secundario. El circuito secundario incluye los electrodos que conducen la



corriente de soldadura al trabajo, y el trabajo mismo. En algunos casos, el circuito también incluye alguna forma de almacenar energía eléctrica.

Para la soldadura de resistencia se emplea tanto corriente alterna como corriente continua. La máquina soldadora convierte la potencia de línea de 60 Hz en potencia de bajo voltaje y alto amperaje en su circuito secundario.

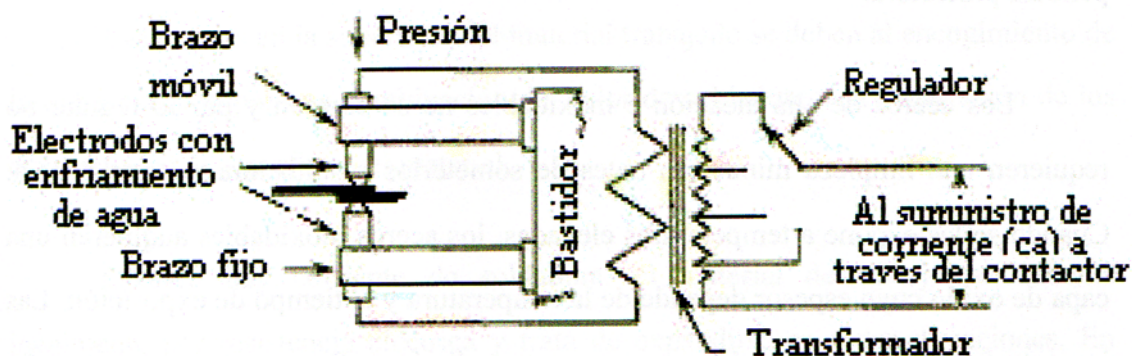


Fig. II.7. Circuito de soldadura de puntos monofásico típico

Fuente (trabajo de grado Dorta. D y Ortega .D año 2006)

II.2.9. Preparación de las superficies.

La naturaleza de los metales a unir dicta la pauta a la hora de preparar la superficie para poder soldar por resistencia eléctrica. Los aceros al carbono y de baja aleación tienen una resistencia a la corrosión relativamente baja en la atmósfera ordinaria; por tanto, estos metales suelen protegerse con una película delgada de aceite durante el almacenamiento y procesamiento. Esta película de aceite no tiene efectos perjudiciales sobre la soldadura, siempre que las superficies impregnadas no



se contaminen con suciedad u otros materiales de baja conductividad o dieléctricos.

El acero rolado en caliente sin baño químico debe someterse a baño químico o limpieza mecánica antes de soldarse. El acero rolado en caliente con baño químico puede soldarse así como viene, aunque tal vez deba limpiarse con un trapo para retirar la suciedad suelta. El acero rolado en frío presenta la mejor superficie para soldar y, si se le protege adecuadamente con aceite, no requiere mas limpieza previa a la soldadura que el paso de un trapo para quitar las partículas de suciedad adherida a la película protectora.

Los aceros de alta aleación e inoxidables no se corroen y por lo regular no requieren una limpieza minuciosa antes de someterlos a soldadura por resistencia. Cuando se les expone a temperaturas elevadas, los aceros inoxidables adquieren una capa de oxido cuyo espesor depende de la temperatura y el tiempo de exposición. Las incrustaciones son oxido de cromo que se elimina eficazmente con un baño químico. El aceite y las grasas deben eliminarse con disolvente o mediante desengrasado con vapor antes de la soldadura, En el caso de los aceros recubiertos, con pocas excepciones, los recubrimientos y las chapas que se aplican al acero al carbono para protegerlos de la corrosión o mejorar su aspecto se prestan de manera satisfactoria a la soldadura de resistencia. En general pueden obtenerse buenos resultados sin procedimientos de limpiezas especiales.

Cuando el material a soldar es aluminio debemos tener en cuenta que el mismo posee una delgada, tenaz y transparente película de oxido de aluminio que se forma sobre la superficie de estas aleaciones y las protege. El oxido de aluminio tiene un punto de fusión de alrededor de 2038 °C y por lo tanto, de no ser retirado pasa a existir como un sólido en la soldadura, disminuyendo su pureza y alterando las propiedades mecánicas de la misma. La eliminación puede ser por reducción química o por medios mecánicos como el maquinado, limado, frotación con fibra de acero o



un cepillo de alambre de acero inoxidable.

II.2.10. Marcado de la superficie.

Las marcas en la superficie del material trabajado se deben al encogimiento de la pieza causado por una combinación del calor de soldadura y la penetración de los electrodos en la superficie del material.

Cuando hay corriente de soldadura, el material de trabajo se calienta localmente por resistencia eléctrica y trata de expandirse en todas direcciones. En virtud de la presión ejercida por los electrodos, la expansión transversal respecto al plano de las láminas esta restringida. Al enfriarse la soldadura, la contracción tiene lugar casi exclusivamente en la dirección transversal y produce superficies cóncavas o marcas en las posiciones de los electrodos. Esta contracción no debe confundirse con la penetración excesiva de los electrodos en el trabajo debido a procedimientos de soldaduras incorrectos.

II.2.11. Electrodo y portaelectrodos.

El electrodo es la herramienta perecedera empleada en la soldadura por resistencia eléctrica, que pueden tener forma de ruedas rodillos, barras, placas, abrazaderas, mandriles o modificaciones de éstas. En casi todas las aplicaciones de soldadura de puntos se emplean porta electrodos o adaptadores para la unión no permanente de los electrodos en las máquinas.



II.2.11.1. funciones de los electrodos:

1. Conducir la corriente de soldadura a las piezas.
2. Transmitir una fuerza a la unión.
3. Fijar o colocar las piezas con la alineación correcta.
4. Eliminar calor de la soldadura o la parte adyacente.

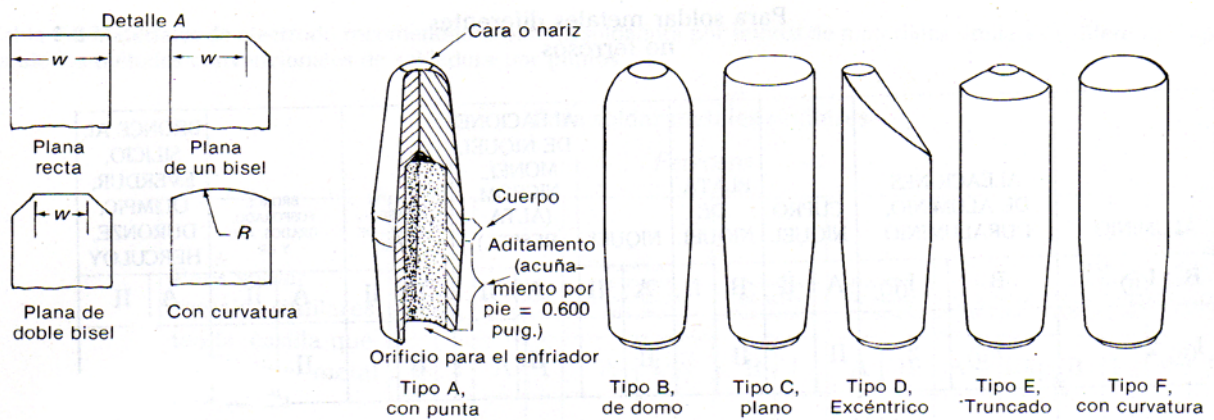


Fig. II.8. Tipos de electrodos estándar y sus partes Fuente(Horwitz año1990)

El electrodo deberá tener la masa suficiente para transmitir la fuerza y corriente de soldadura requeridas, y proporcionar un enfriamiento adecuado si es necesario. Las aplicaciones de alto volumen de producción a veces trabajan con secciones gruesas que requieren electrodos de diseño especial.



II.2.12. Materiales para electrodos

La RWMA (The Resistance Welders Manufacturers Association) clasifica los materiales para electrodos de soldadura de resistencia dividiéndolos en tres grupos A, aleaciones a base de cobre; B, composiciones de metales refractarios, y C, materiales de especialidad.

II.2.12.1. Grupo a aleaciones a base de cobre.

Las aleaciones a base de cobre se dividen en cinco clases. Las aleaciones de clase 1 son materiales de propósito general para aplicaciones de soldadura de resistencia. , Las mismas pueden usarse para electrodos de puntos cuando la conductividad eléctrica y la conductividad térmica son más importantes que las propiedades mecánicas.

- **Las aleaciones de clase 1** no se pueden tratar con calor, su resistencia mecánica y dureza se incrementa mediante el trabajo en frío.

- **Las aleaciones de clase 2** poseen propiedades mecánicas adecuadas pero conductividades eléctricas y térmicas menores a las aleaciones de clase 1. Estas presentan una buena resistencia a la deformación bajo presiones moderadamente altas y son recomendables para propósitos generales.

Esta clase de aleación es adecuada para soldaduras de puntos de acero de baja y moderada aleación, aceros inoxidables, aleaciones de baja conductividad a base de cobre y aleaciones de níquel cuando el volumen de producción es elevado. Estas aleaciones también son apropiadas para flechas, abrazaderas, fijaciones, platinas, brazos de pistolas y diversos otros componentes



estructurales portadores de corriente del equipo de soldadura de resistencia.

- **Las aleaciones de clase 3** también pueden tratarse con calor, pero también tienen propiedades mecánicas superiores y conductividad eléctrica más baja que la aleación de clase 2. La principal aplicación de los electrodos de soldadura por puntos hechos con estas aleaciones es en soldaduras de aleaciones resistentes al calor que conservan las propiedades de resistencia mecánicas altas a elevadas temperaturas
- **Las aleaciones de clase 4** son tipos endurecibles con la cual alcanza la mayor dureza y resistencia mecánica de todas las aleaciones de cobre del grupo A. Su baja conductividad y tendencia a la friabilidad en caliente las hacen inapropiadas para electrodos de soldaduras de puntos.

II.2.12.2. Grupo b composiciones de metales refractarios.

Estos materiales contienen un metal refractario en forma de polvo, por lo regular tungsteno o molibdeno, y se fabrican por el método de metalurgia en polvo. Su atributo principal es la resistencia a la deformación en servicio. Son buenos para lograr el balance calorífico cuando se necesitan dos materiales de electrodo distintos

Para compensar una diferencia en el espesor o la composición de aleaciones que se van a soldar.

Las composiciones de clase 10, 11 y 12 son mezclas de cobre y tungsteno, la dureza, resistencia mecánica y la densidad aumentan, y la conductividad eléctrica disminuye al aumentar el contenido de tungsteno.

Las clases 13 y 14 son respectivamente tungsteno y molibdeno



comercialmente puros. En general se consideran los únicos materiales de electrodo que contiene un buen desempeño en la soldadura de metales no ferrosos de alta conductividad eléctrica.

II.2.12.3. Grupo c otros materiales.

Varias aleaciones de cobre no clasificadas y otros materiales pueden ser adecuados para los electrodos de soldadura de resistencia. Aunque los materiales que satisfacen las normas de la RWMA satisfacen también casi todos los requisitos de aplicación, hay casos en los que otros materiales funcionan tan bien o mejor que ellos.

El cobre reforzado por dispersión es un material no clasificado en que pueda usarse para electrodos, es de cobre alta pureza y contiene pequeñas cantidades de óxido de aluminio submicroscópico distribuido de manera uniforme en la matriz. Este óxido de aluminio refuerza de manera significativa la matriz de cobre y eleva la temperatura de recristalización del material trabajado en frío. La elevada temperatura de recristalización del material forjado ofrece una excelente resistencia al reblandecimiento y aplastamiento de los electrodos cuando las superficies de contacto se calientan, esto contribuye de manera apreciable a alargar la vida de los electrodos.

II.2.13. Características del electrodo.

Un electrodo de soldadura por puntos tiene cuatro características primordiales:

1. La cara.
2. El vástago.
3. El extremo o conexión.
4. Mecanismo de enfriamiento.



II.2.13.1. La cara.

La cara del electrodo es la sección del mismo que hace contacto con el trabajo. En su diseño influyen la composición, espesor y geometría de las piezas por soldar. A su vez, la geometría de la cara del electrodo determina las densidades de corriente y de presión en la zona de soldadura.

II.2.13.2. El vástago.

El vástago debe tener un área de sección transversal suficiente para soportar las fuerzas de soldado y transportar la corriente de soldadura. El vástago puede ser recto o puede ser curvo.

II.2.13.3. El extremo o conexión.

El método de conexión del extremo del vástago con el porta electrodo por lo regular a uno de tres tipos generales: Ahusado, roscado o de vástago recto. Las conexiones ahusadas RWMA usan el aguzamiento Jamo como norma. Este aguzamiento ofrece las siguientes ventajas:

1. El diámetro principal nominal se obtiene al multiplicar el número de ahusamiento por 1/8 pulg.; por ejemplo, el aguzamiento RWMA núm. 5 tiene diámetro de 5/8pulg,
2. Los números de ahusamiento siguen la secuencia del 3 al 7.
3. El ahusamiento RWMA es 0.600 pulg/ft para todos los tamaños. El diámetro del electrodo y la longitud del ahusamiento aumentan al aumentar el número de ahusamiento. Los ahusamiento más largos pueden



soportar fuerzas" *de electrodo* mayores pero existe una fuerza máxima que no debe rebasarse para cada tamaño de electrodos.

II.2.14. Mecanismo de enfriamiento.

Los electrodos para soldadura de puntos deberán tener un conducto de enfriamiento interno que llegue cerca de la cara para soldar, este conducto deberá diseñarse de modo que entre en el tubo de entrada de agua y el agua pueda fluir hacia afuera del tubo, el cual deberá colocarse de modo que dirija el agua de enfriamiento contra la parte inferior de la punta del electrodo.

Si el enfriamiento interno no resulta práctico, conviene considerar el enfriamiento externo de los electrodos por inmersión, inundación o espirales de enfriamientos.

II.2.15. Prueba destructiva "peel".

Esta prueba consiste en despegar dos (2) láminas que han sido pegadas previamente con soldaduras por electropunto; al hacer esto, parte de una de las láminas va a quedar adherida a la otra. Esta porción de lámina que queda adherida.

Posee normalmente una forma circular, por medio de medición directa se toman dos diámetros, perpendiculares entre sí para luego sacar el promedio.



Tabla N° II.3 Medidas recomendadas para las dimensiones de las probetas en el ensayo peel

Espesor (T) [pulg]	Ancho (W) [pulgl]	Largo (L) [pulg]
Hasta 0.029	5/8	2
0.030 a 0.058	1	3
0.059 a 0.125	1 1/2	4

Fuente: Resistance Welding Maintenance Handbook (Chrysler Corporation)

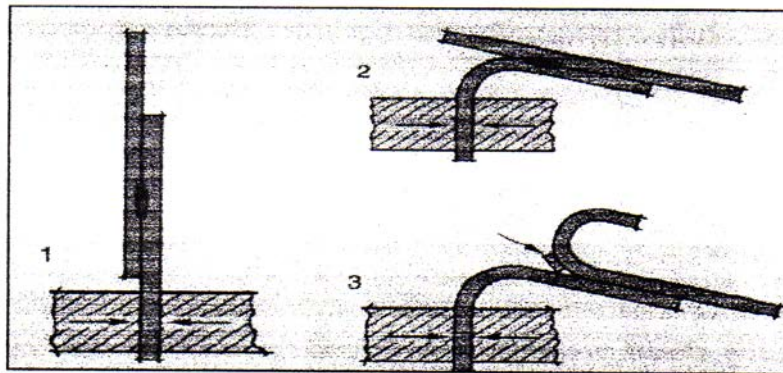


Fig. II.9. etapas del ensayo destructivo Peel

1. Se sujeta por uno de los extremo una de las láminas, ya asoldadada a una prensa.
2. Se procede a separar las láminas, ejerciendo una fuerza de tracción al extremo opuesto a la lámina que no esta sujeta a la prensa.
3. las láminas se encuentran separada, para luego proceder a medir los diámetros de la huella dejada por el proceso de la soldadura (electropunto).

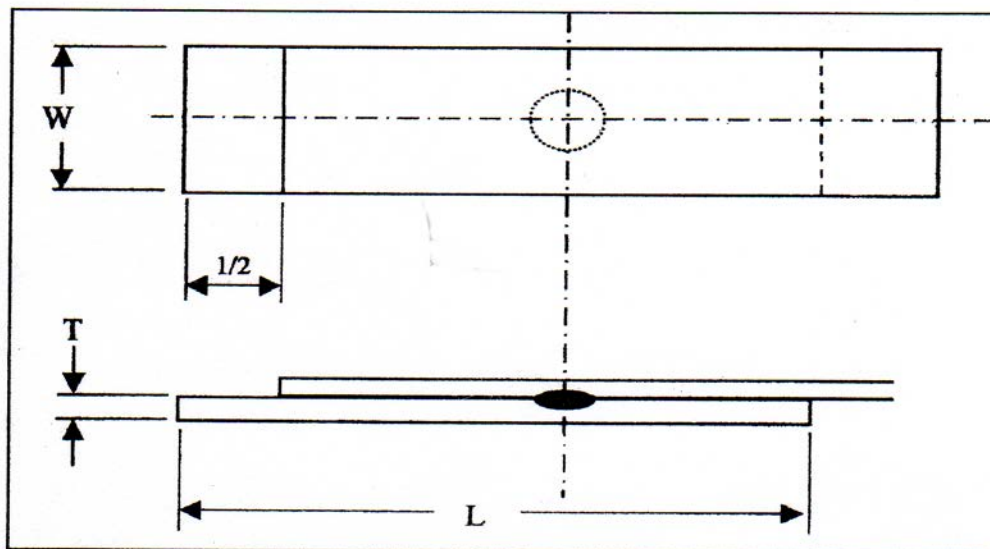


Fig. II.10. Esquema dimensional de la probeta para ensayo Peel

II.2.15.1 Recomendaciones para la prueba de "peel".

Es importante efectuar pruebas visuales y de resistencia para asegurarse que los puntos de soldadura son consistentes y su calidad es aceptable para producción. Se recomienda hacer estas pruebas en cada una de las siguientes ocasiones:

- En cada inicio y fin de turno.
- Inmediatamente antes y después que se reemplaza un electrodo.
- Cada vez que alguno de los servicios de la máquina se ha alterado o alguno de sus subensambles ha sido cambiado.
- Inmediatamente después de cambiar cualquier elemento o material relacionado con el suministro de energía eléctrica.





III. MARCO METODOLOGICO.

III.1 Tipo de investigación.

El presente trabajo de investigación se encuentra en el campo de las ciencias aplicadas ya que amplió y profundizó el conocimiento existente del proceso de soldadura por resistencia eléctrica. Se considera una investigación de tipo experimental porque se verificaron las condiciones de operatividad del equipo de soldadura por resistencia a través de ensayos de campo, ya que los datos que se obtuvieron son por observación directa del proceso.

III.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas e instrumentos que se utilizó en este trabajo de investigation son:

III.2.1. Registro histórico.

Consistió en la utilización y análisis de la información sobre las características de diseño, y del proceso de equipos de soldadura similares, así como también los cálculos teóricos de la misma que sean necesarios; para obtener orientación de lo que se podrá obtener con la técnica de observación directa.

III.2.2. Observación directa.

Se permitió obtener datos mediante el contacto visual con el equipo y el proceso a evaluar, permitiendo así conocer el proceso más profundamente, para poder identificar las variables o características que lo rigen como el tiempo, amperaje y Presión.



III.2.2.1. Técnica utilizada en la observación directa.

Formatos para registrar los datos observados en los ensayos, para realizar análisis y cálculos correspondientes para obtener el comportamiento del desgaste del electrodo.

Material bibliográfico: antecedentes, especificaciones de los electrodos, catálogos y revistas.

III.3. Logística o recursos utilizados.

Instalaciones del laboratorio de procesos de la escuela de ingeniería mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

III.3.1. Materiales.

III.3.1.1. Láminas de bronce.

En el anexo A.1 se encuentra el certificado entregado por la empresa SUMIGAR,C.A. donde aparece las propiedades físicas y químicas de la lámina de bronce empleada en los ensayos.

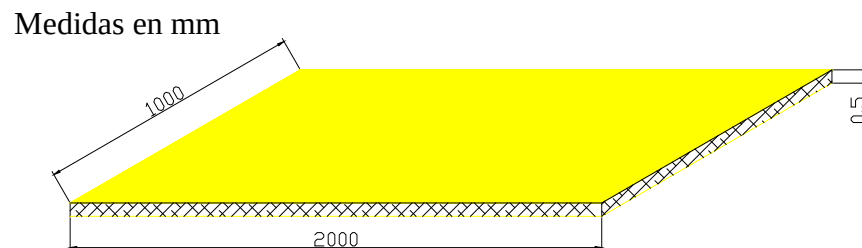
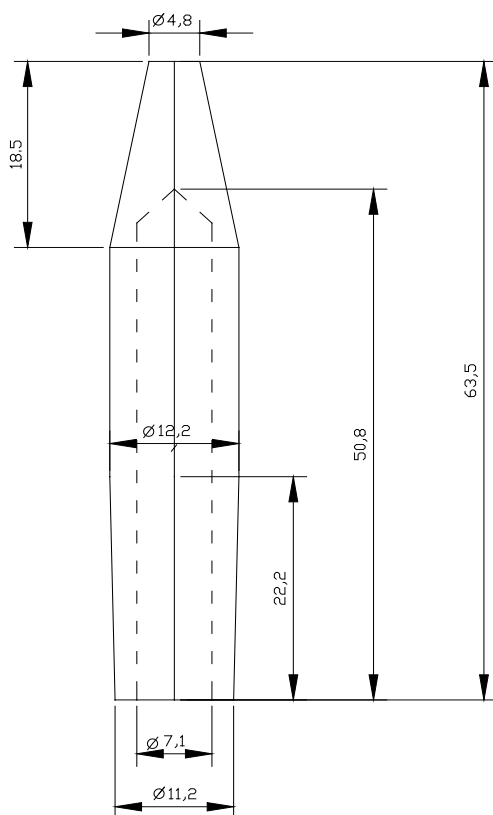


Fig. III.1. Láminas de bronce. Fuente propia.



Lámina de longitud inicial para ser cortada en tiras de 600x30x0.5 mm y de 70x30x0.5 mm para realizar los ensayos correspondientes de desgaste y destructivo

III.3.1.2. Electrodo cobre cromo.



Electrodo
Cant: 2 pza
Mat: cobre cromo (claseII)
Medidas en mm

RWMA	A-2410
CMW	3217

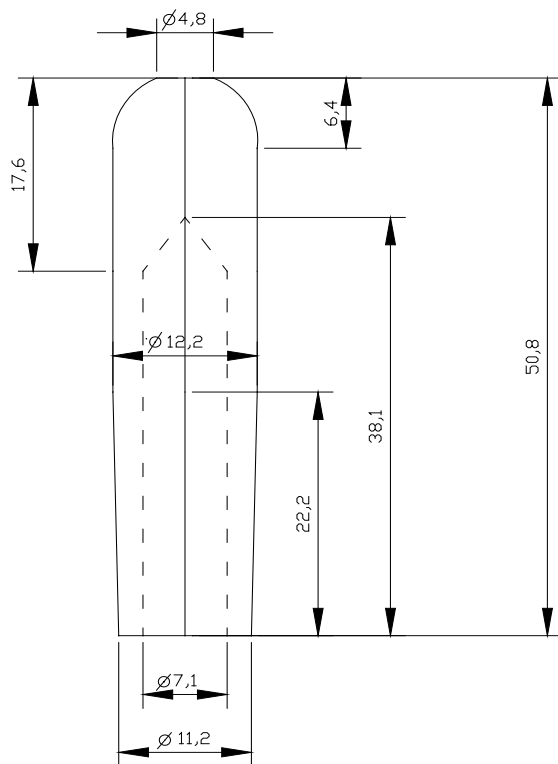


Fig. III.2 Imágenes y plano del diseño del electrodo tipo puntiagudo (P).

Fuente Propia



En el anexo A.3 aparece las dimensiones de diseño para las dos geometrías de electrodo.



Electrodo
Cant: 2 pza
Mat: cobre cromo (clase II)
Medidas en mm

RWMA	B-2408
CMW	3215

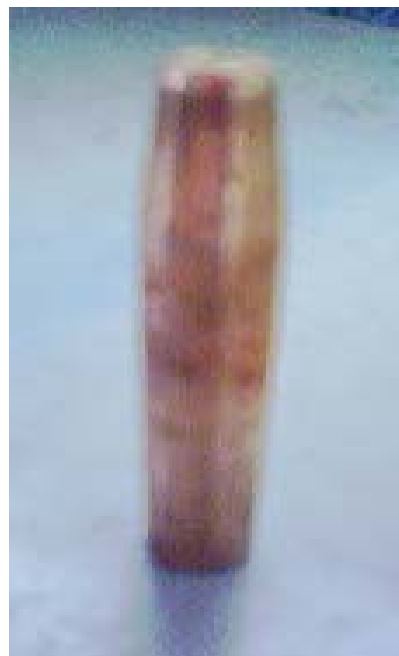


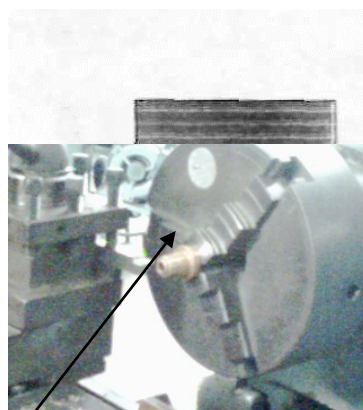
Fig. III. 3. Imágenes y plano del diseño del electrodo tipo Domo (D)

Fuente propia.

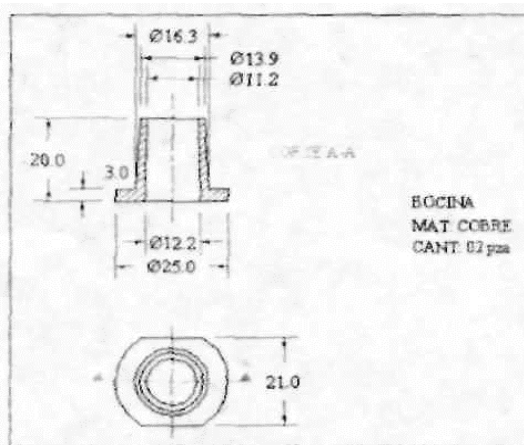


III.3.1.3. Bocinas adaptadoras.

Debido a que el portaeléctrodo no cumplió con las especificaciones de diseño según la norma RWMA se requirió del diseño de unas bocinas adaptadora que permitan utilizar los electrodos tipo puntiagudo y domo pertenecientes a la norma antes mencionada, en el anexo A.2 aparece el certificado de las características físicas y composición químicas de la barra de cobre que fue utilizada para el diseño de la bocina.



Bocina adaptadora. Fuente propia.



(b)

Figura III.4. (a) Bocina adaptadora entre porta electrodo y electrodo, (b) Dimensiones de la bocina

III.3.1.4. Multiteste digital.

Se empleó para obtener los valores de la temperatura, durante el ciclo de trabajo para cada una de las puntas en los distintos ensayos.



Figura III.5 Multiteste digital. Fuente propia.



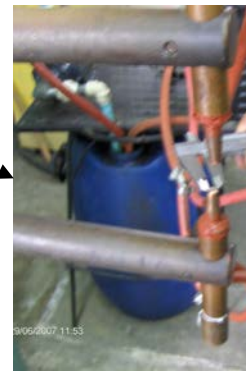
III.3.2 Equipos.

III.3.2.1. Máquina de soldadura por resistencia eléctrica (electropunto).

Para lograr los objetivos planteados en la realización del trabajo de grado se contó con el equipo de soldadura por resistencia eléctrica del laboratorio de proceso. (Ver figura III.6)



Interruptor para el control del tiempo en ciclos
(TEMPORIZADOR)



Porta electrodo permite ajustar debidamente la posición del electrodo relativa al trabajo



Interruptor para controlar la intensidad eléctrica

Figura III.6. Máquina de soldadura por resistencia eléctrica (Electropunto). Modelo Cogesa Voltaje 220V 60Hz Kv Máx 15.

Fuente Propia.



III.3.2.2. Sistema de refrigeración de la máquina de soldadura por resistencia eléctrica del laboratorio de proceso.

Debido a que la máquina se empleó para realización de los ensayos por resistencia eléctrica, es un modelo discontinuado; el cual no posee un sistema de refrigeración propio, se utilizó un sistema diseñado en la facultad de ingeniería para suplir el sistema de refrigeración de la máquina.



Fig. III.7 Sistema de refrigeración para la maquina de soldadura por resistencia eléctrica (electropunto). Fuente Propia.



III.4. Técnica de análisis de datos.

- Estudio de la característica del equipo.
- Evaluación de los puntos de soldaduras obtenidos.
- Elaboración e interpretación de tablas de los datos obtenidos en los ensayos.
- Construcción y análisis de curvas del comportamiento de desgaste de electrodo.

III.5. Metodología aplicada.

El procedimiento experimental se realizó en el laboratorio de proceso de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad de Carabobo, en dicho laboratorio se llevó a cabo las labores de reparación y mantenimiento necesario para poner en optimas condiciones de funcionamiento el equipo de soldadura por resistencia eléctrica así como el estudio de las características y condiciones de operatividad del mismo. De la realización y análisis de los ensayos piloto de la soldadura se obtuvieron valores que determinan los parámetros óptimos de operatividad de la máquina de soldadura por electropunto. Al trabajar con láminas de Bronce con un espesor de 0.5 mm.

III.5.1 Ensayos pilotos de la soldadura por resistencia eléctrica en función de la intensidad de corriente vs. tiempo de unión y ensayo destructivo peel.

La unión de la probetas necesarias para este ensayo persigue generar una serie de duplas que al ser analizadas mediante observación directa y probadas mecánicamente generan una matriz de información puntual de la cual se obtienen las magnitudes óptimas de soldeo para configuración en específico.



III.5.1.1 Procedimiento.

- ✓ Corte del material (lámina de Bronce) en tamaño de probeta para ensayo destructivo peel de 30mm x 70mm x 0.5mm.
- ✓ Con base en los datos recopilados acerca del proceso y tomando en cuenta el material a soldar y configuración del equipo se seleccionó las posibles magnitudes de intensidad de corriente utilizado en los ensayos con enfriamiento y sin enfriamiento.
- ✓ Soldar la dupla de láminas realizando 3 ensayos por cada intensidad de corriente y ciclo de tiempo de soldado seleccionado.
- ✓ Con la finalidad de contribuir con el proceso de recopilación de datos experimentales y siguiendo el orden de realización de las soldaduras se procedió a generar un patrón de marcaje para identificación de las diferentes duplas.
- ✓ Inspección visual de los distintos ensayos de la soldadura generados en función de la determinación, la existencia de soldadura y calidad del acabado superficial de la misma.
- ✓ Procedimiento de separación de las duplas realizadas para la determinación de efectividad de unión de la dupla.
- ✓ Medición directa de los diámetros del punto de la soldadura generado en función de la determinación del tamaño del punto de soldadura.
- ✓ Recolección, procesamiento y análisis de datos en función de la determinación de la magnitud óptima de intensidad de corriente y los ciclos de tiempo aplicables para los siguientes ensayos realizados.



III.5.2 Ensayo de la soldadura por resistencia eléctrica en función de la geometría del electrodo (sin enfriamiento)

Una vez determinadas las magnitudes de intensidad de corriente y ciclos de tiempo necesario para obtener puntos de soldadura óptimos se procede al desgaste de los electrodos; este procedimiento se lleva a cabo soldando continuamente tiras de lámina con el equipo de refrigeración apagado y a su vez verificando sus condiciones con la cantidad de puntos que se generen.

III.5.2.1 Procedimiento.

- ✓ Corte del material (lámina de Bronce) en forma de tiras de dimensiones 600x30x0.5mm.
- ✓ Puesta a punto del equipo de soldeo, los parámetros se ubicaron según los resultados obtenidos en primer ensayo.
- ✓ Se procedió a soldar 16 duplas de tira de láminas, la distancia entre los puntos es 20mm. El proceso de verificación de condición superficial de la punta del electrodo y dimensiones del mismo se llevó a cabo cada vez que se finalizó una de las duplas de tira de lámina a unir.
- ✓ Se llevó un registro de algunos de los cambios apreciables en el electrodo por número de puntos realizado y a su vez de todos procedimientos de limpieza de la punta del mismo.
- ✓ Recolección y procesamiento de datos referentes al rendimiento del electrodo según el número de puntos generado para su posterior análisis y determinación de su vida útil al ser utilizado bajo la configuración antes descrita.



III.5.3 Ensayos de soldadura por resistencia eléctrica en función de la geometría del electrodo con (enfriamiento)

Una vez determinadas las magnitudes de intensidad de corriente y ciclos de tiempo necesario para obtener puntos de soldadura óptimos se procede a al desgaste de los electrodos; este procedimiento se llevó a cabo soldando continuamente tiras de lamina con el equipo de refrigeración encendido y a su vez verificando su condiciones con la cantidad de puntos que se generen.

III.5.3.1 Procedimiento.

- ✓ Corte del material (láminas de bronce) en forma de tiras de lamina de 600mmx30mmx0,5mm.
- ✓ Puesta a punto del equipo de soldeo, los parámetros se ubicaron según los resultados obtenidos en el primer ensayo.
- ✓ Se procedió a soldar 16 duplas de tira de láminas, la distancia entre los puntos es 20mm. El proceso de verificación de condición superficial de la punta del electrodo y dimensiones del mismo se llevó a cabo cada vez que se finalizó una de las duplas de tira de lámina a unir.
- ✓ Se llevó un registro de todos los cambios apreciables en el electrodo por número de puntos realizado y a su vez de todos procedimientos de limpieza de la punta del mismo.
- ✓ Recolección y procesamiento de datos referentes al rendimiento del electrodo según el número de puntos generado para su posterior análisis y determinación de su vida útil al ser utilizado bajo la configuración antes descrita.



III.5.4 Obtención de los parámetros óptimos del proceso de soldadura por resistencia eléctrica y la vida útil de electrodos.

III.5.4.1 Procedimiento.

- ✓ Recolección de datos obtenidos en los diferentes ensayos de soldadura referentes a las variaciones de las condiciones de los electrodos a medida que se realizaron los ensayos de desgaste.
- ✓ Organización de la información.
- ✓ Análisis y procesamiento de la información.



IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL

IV.1. Desarrollo experimental.

En este capítulo se muestran los resultados de los ensayos realizados en la máquina de soldadura por resistencia eléctrica, variando la geometría de la punta de los electrodos y las condiciones de trabajo, con sistemas de enfriamiento y sin sistemas de enfriamiento. Previamente se realizó la toma de mediciones de los valores de tiempo y corriente dados por el mismo equipo de soldadura, y los valores de temperatura por medio de un aparato suministrado en el laboratorio.

IV.1.1. Determinación de las condiciones de operatividad del equipo de soldadura por resistencia eléctrica.

Los valores de corriente y tiempo se obtuvieron de una tesis hecha anteriormente (fuente Henríquez y Malavé), que es una tabla en donde aparece la corriente (Amp) de soldadura para la combinación de posición de los selectores de corriente y tiempo de la máquina del laboratorio de procesos de fabricación en la universidad de Carabobo.

IV.1.2. Resultados obtenidos por los equipos de medición intensidad y tiempo.

Con estos resultados se podrá conocer la gama de valores que ofrece el equipo de soldadura por resistencia eléctrica del laboratorio de proceso. También se obtuvo como medición el valor de la fuerza de contacto de 524 lb



Tabla IV N° 1. Valores de corrientes.

		Posición del selector de tiempo										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		T (ciclos)										
		0	4	9	14	19	24	32	42	59	150	198
Posiciones del selector de corriente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	2970	3420	3460	3360	3420	3430	3420	3440	3500	3540
	2	0	4130	4240	4380	4350	4350	4360	4400	4380	4480	4490
	3	0	5080	5220	5290	5290	5330	5350	5360	5380	5470	5460
	4	0	5630	5920	6030	6140	6090	6110	6160	6190	6260	6210
	5	0	6590	6430	6530	6700	6660	6760	6710	6740	6790	6780

Fuente: Trabajo Especial de Grado, año 2004. Autores: Henríquez A; Malave R.

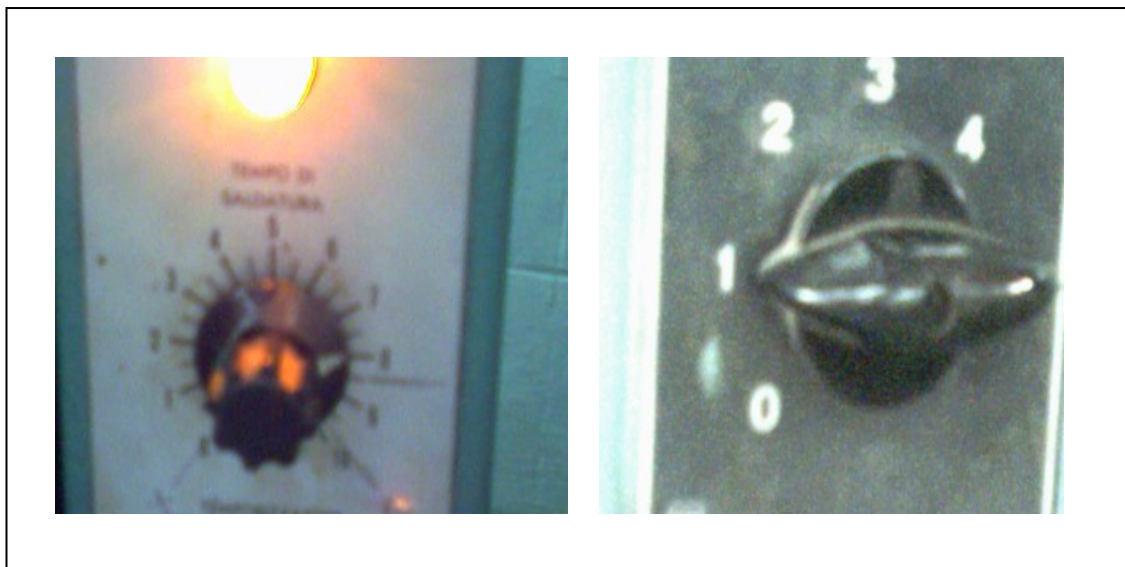


Fig. IV.1 Interruptores para posiciones de intensidad de corriente y de temporizador. Fuente propia.



IV.2. Características generales de los puntos de soldadura generados en los ensayos pilotos y prueba destructivo peel.

Para obtener la intensidad adecuada se realizó un punto de soldadura para una posición y un ciclo de tiempo determinado en donde se observó las características en ese punto como la existencia de soldadura, que la superficie no presente una perforación y si la soldadura es resistente a la fuerza de tracción.

SOLDADURA	SOLD.
EXISTE	SI
INEXISTENTE	NO

TRACCIÓN	TRAC.
FUERTE	F
DEBIL	D

SUPERFICIE	SUP.
BUENA	B
PERFORADA	P

Tabla IV N° 2. Características en los puntos de soldadura en donde se fija una Posición del interruptor de corriente y la posición del temporizador.

Fuente propia.

POSICIÓN DEL INTERRUPTOR	POSICIÓN DEL TEMPORIZADOR											
	3			4			6			8		
	SOLD	TRAC	SUP	SOLD	TRAC	SUP	SOLD	TRAC	SUP	SOLD	TRAC	SUP
1	SI	D	B	SI	D	B	SI	F	D	SI	B	P
2	SI	F	B	SI	F	B	SI	F	P	SI	B	P
3	SI	F	P	SI	F	P		—	—	—	—	—

Fuente: Propia.



Como el punto de soldadura que cumple con estos tres tipos de características adecuadas en donde existió un tipo de soldadura resistente a la tracción y no presentó ninguna perforación es en la posición del interruptor de 2 y una posición del temporizador de tiempo de 3, para la soldadura sin enfriamiento, la posición del interruptor de 2 y una posición del temporizador de tiempo de 4; en donde el valores de corriente es de 4380 ampere, 4350 ampere, obtenido de la tabla 1.



Fig. IV.1. Ensayo piloto y prueba destructiva (PEEL). Fuente propia.

IV. 3. Ensayos de soldadura por resistencia eléctrica en función de la intensidad.

Según los requerimientos del ensayo Peel las láminas fueron cortadas y marcadas para luego realizar el punto de soldadura en donde luego se separaron por una fuerza de tracción y se midió el punto de soldadura tomando dos diámetros perpendiculares (D1 y D2).



Fig. IV.2 Duplas de probetas soldadas para ensayo piloto y prueba destructiva Peel. Posición 2.3. Fuente propia.

Tabla IV N° 3. Valores de diámetros en función de la intensidad.

POSICIÓN INTERRUPTOR	Diámetros	CICLOS DE TIEMPO								
		3			6			8		
		DA (mm)	DB (mm)	Dc (mm)	DA (mm)	DB (mm)	Dc (mm)	DA (mm)	DB (mm)	Dc (mm)
1	D1(mm)	0,90	0,80	2,10	1,20	1,40	1,70	2,40	2,40	1,40
	D2(mm)	0,90	0,90	2,20	1,30	1,80	1,20	2,60	2,00	1,20
	Dp(mm)	0,90	0,85	2,15	1,25	1,60	1,45	2,50	2,2	1,30
2	D1(mm)	2,00	1,20	1,60	2,60	3,40	3,50	2,80	1,80	3,70
	D2(mm)	2,80	1,65	1,60	3,30	3,60	3,80	2,90	1,90	2,80
	Dp(mm)	2,40	1,43	1,60	2,95	3,50	3,65	2,85	1,85	3,25
3	D1(mm)	2,50	3,20	3,95	---	---	---	---	---	---
	D2(mm)	4,50	2,60	3,60	---	---	---	---	---	---
	Dp(mm)	3,50	2,90	3,78	---	---	---	---	---	---

Fuente: Propia



IV.4. Ensayos de soldadura por resistencia eléctrica en función de la geometría del electrodo (con enfriamiento)

En este tipo de ensayo se puso en funcionamiento el sistema de enfriamiento en la máquina de soldadura por resistencia eléctrica luego se comenzó a trabajar según lo establecido en el plan de trabajo, con la cual se compara la vida útil de los electrodos de tipo **puntiagudo (P)** y **domo (D)** en condiciones de trabajo iguales.

Según lo establecido en el ensayo Peel las láminas ya cortadas y ensayadas se le mide sus diámetros perpendiculares D1 y D2 como la figura mostrada.

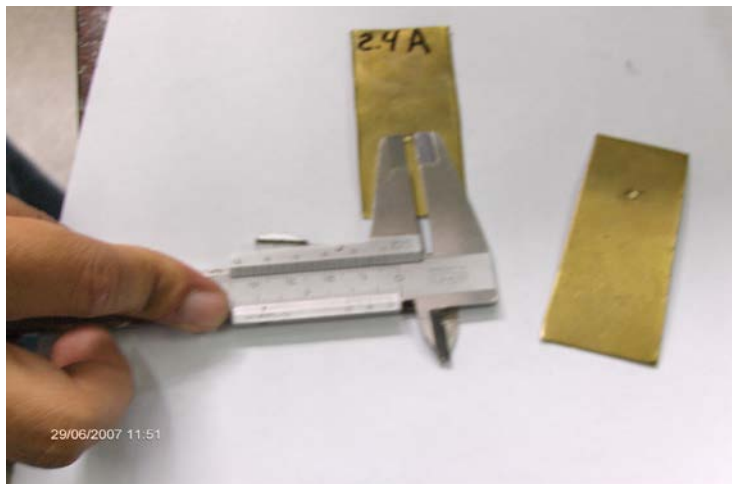


Fig. IV.3 Medición de los diámetros de la soldadura generada en los ensayos destructivo Peel de la prueba piloto. Fuente propia.

Los datos que se obtuvieron de la tabla 4 donde se hizo de la siguiente manera, se midió el diámetro de la cara D de la punta del electrodo y una altura H de desde la punta hasta la marca h, tanto del electrodo ubicado en la parte superior como el electrodo ubicado en la parte inferior.

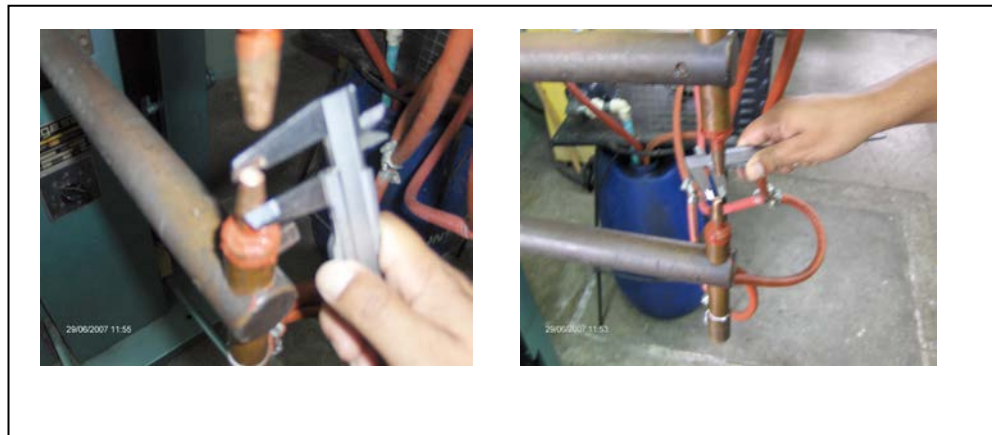


Fig. IV.4 Medición de la cara del electrodo y la altura del electro para las geometrías tipos puntiagudo (P) y domo (D).Fuente propia.



Fig. IV.5 marcaje de la lámina (izq) y medición de temperatura de electrodo (der). Fuente propia.

IV.4.1. Ensayo para la punta tipo puntiagudo (P).

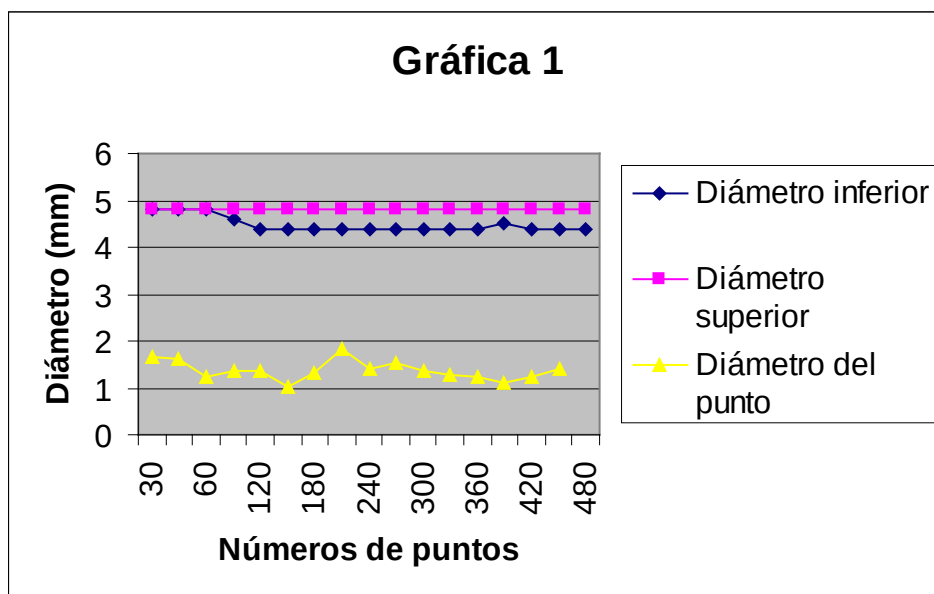
Variación del diámetro del punto de soldadura para una geometría de electrodo tipo domo (P) utilizando enfriamiento.



Tabla IV N° 4. Valores de diámetros y temperaturas.

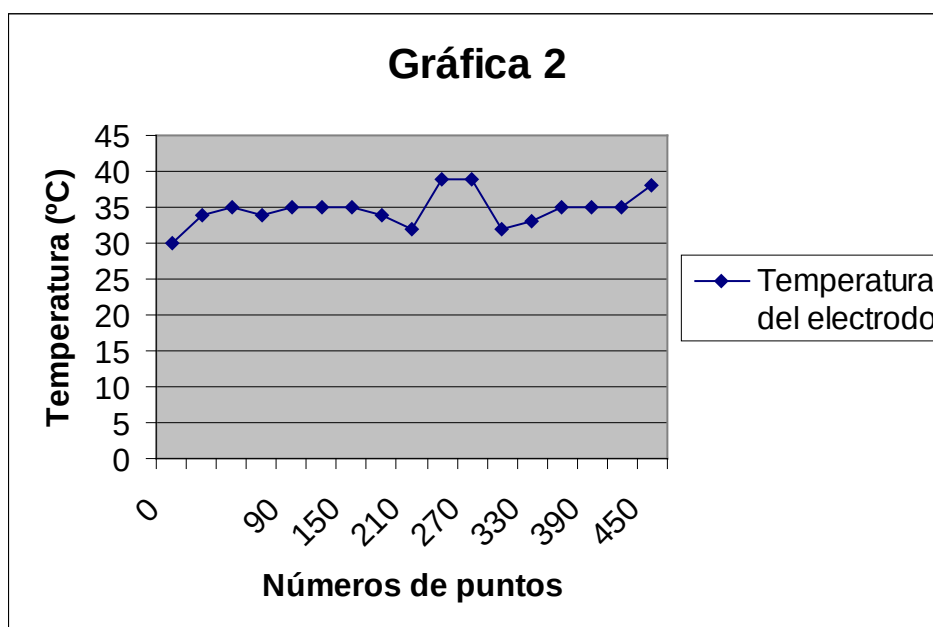
N° de punto	Muestra	Electrodo				T (°C)	Ensayo Peel		
		Inferior		Superior			D1(mm)	D2(mm)	(D1+D2)/2
		D(mm)	H(mm)	D(mm)	H(mm)				
0	PC0	4,80	18,50	4,80	18,90	30			
30	PC1	4,80	18,50	4,80	18,90	34	1,55	1,75	1,65
60	PC2	4,80	18,50	4,80	18,90	35	1,66	1,60	1,63
90	PC3	4,60	18,50	4,80	18,90	34	1,45	1,05	1,25
120	PC4	4,40	18,50	4,80	18,90	35	1,45	1,30	1,38
150	PC5	4,40	18,60	4,80	18,70	35	1,65	1,10	1,38
180	PC6	4,40	18,50	4,80	18,80	35	0,93	1,08	1,01
210	PC7	4,40	18,50	4,80	18,80	34	1,40	1,23	1,32
240	PC8	4,40	18,60	4,80	18,80	32	1,50	2,18	1,84
270	PC9	4,40	18,6	4,80	18,90	39	1,35	1,48	1,42
300	PC10	4,40	18,70	4,80	18,90	39	1,50	1,58	1,54
330	PC11	4,40	18,60	4,80	18,8	32	1,33	1,40	1,38
360	PC12	4,40	18,60	4,80	18,90	33	1,15	1,40	1,28
390	PC13	4,50	18,70	4,81	18,90	35	1,15	1,28	1,22
420	PC14	4,40	18,90	4,80	19	35	0,80	1,40	1,1
450	PC15	4,40	19,00	4,80	19,10	35	1,20	1,05	1,23
480	PC16	4,40	18,50	4,80	18,90	38	1,30	1,50	1,40

Fuente: Propia



Grafica IV N° 1. Comparación de los diámetros del electrodo puntiagudo con el punto de soldadura, utilizando el sistema de enfriamiento.

Fuente propia.



Grafica IV N° 2. Temperatura de trabajo del electrodo puntiagudo con sistema de enfriamiento. Fuente propia.



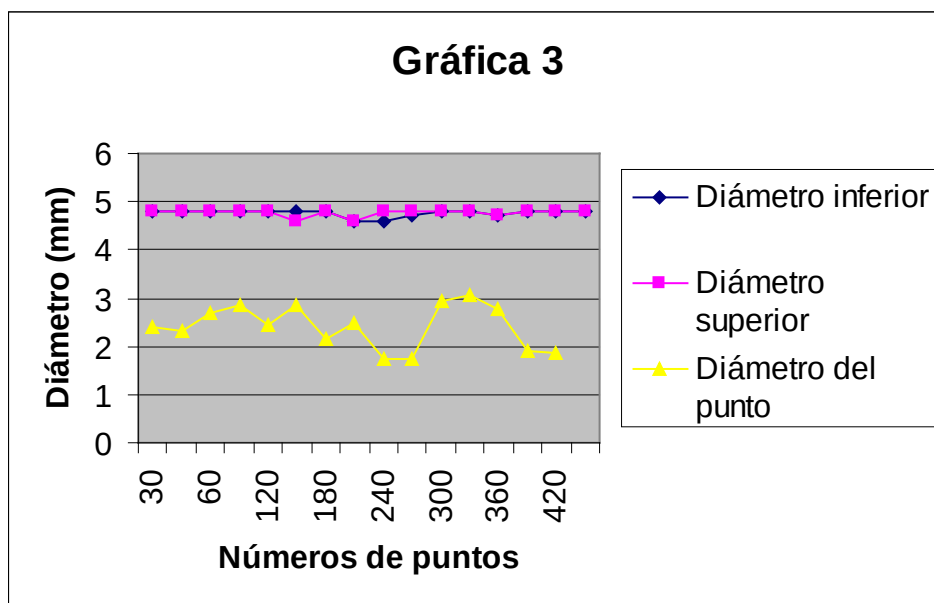
IV.4.2 Ensayos para la punta tipo domo (D).

Variación del diámetro del punto de soldadura para una geometría de electrodo tipo domo (D), en donde se utilizó enfriamiento.

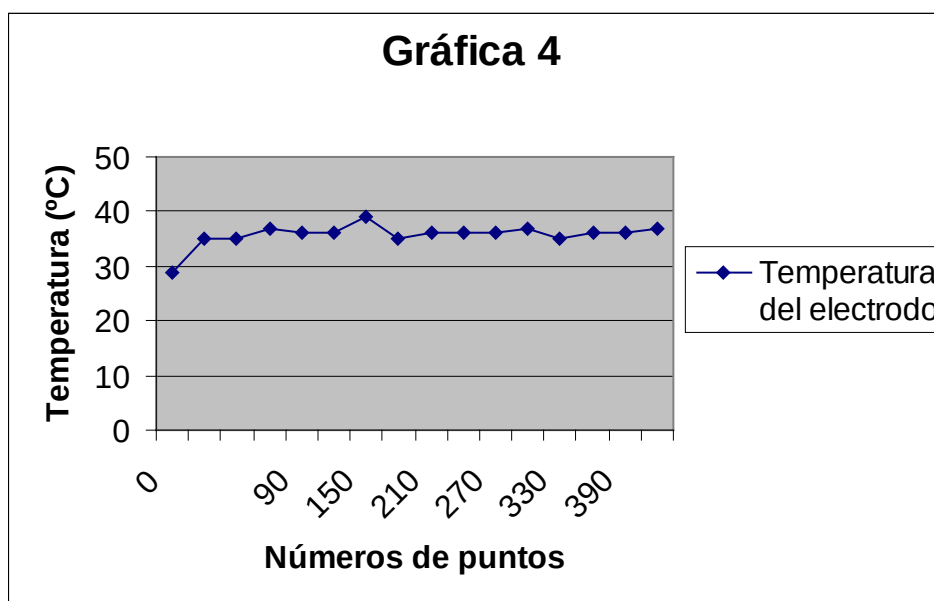
Tabla IV N° 5. Valores de diámetros y temperaturas.

N° de punto	Muestra	Electrodo				T (°C)	Ensayo Peel		
		Inferior		Superior			D1(mm)	D2(mm)	(D1+D2)/2
		D(mm)	H(mm)	D(mm)	H(mm)				
0	DC0	4,80	17,60	4,80	17,60	29			
30	DC1	4,80	17,60	4,80	17,60	35	2,35	2,40	2,38
60	DC2	4,80	17,60	4,80	17,60	35	2,55	2,10	2,33
90	DC3	4,80	17,60	4,80	17,70	37	2,9	2,45	2,68
120	DC4	4,80	17,60	4,80	17,70	36	2,55	3,15	2,85
150	DC5	4,80	17,60	4,60	17,70	36	2,80	2,10	4,90
180	DC6	4,80	17,8	4,80	17,90	39	2,93	2,75	2,84
210	DC7	4,60	17,60	4,60	17,60	35	2,7	1,6	2,15
240	DC8	4,60	17,60	4,80	17,60	36	2,55	2,45	2,50
270	DC9	4,70	17,80	4,80	17,80	36	1,80	1,7	1,75
300	DS10	4,80	17,80	4,80	17,80	36	1,75	1,70	1,73
330	DS11	4,80	17,80	4,80	17,80	37	3,10	2,80	2,95
360	DS12	4,70	17,6	4,70	17,60	35	3,25	2,90	3,08
390	DS13	4,80	17,80	4,80	17,70	36	3,05	2,50	2,78
420	DS14	4,80	17,80	4,80	17,80	36	2,10	1,70	1,90
450	DS15	4,80	17,90	4,80	17,80	37	2,30	1,45	1,88

Fuente: Propia



Gráfica IV N° 3. Comparación de los diámetros del electrodo domo con el punto de soldadura, utilizando el sistema de enfriamiento. Fuente propia.



Gráfica IV N° 4. Temperatura de trabajo del electrodo domo con sistema de enfriamiento. Fuente propia.

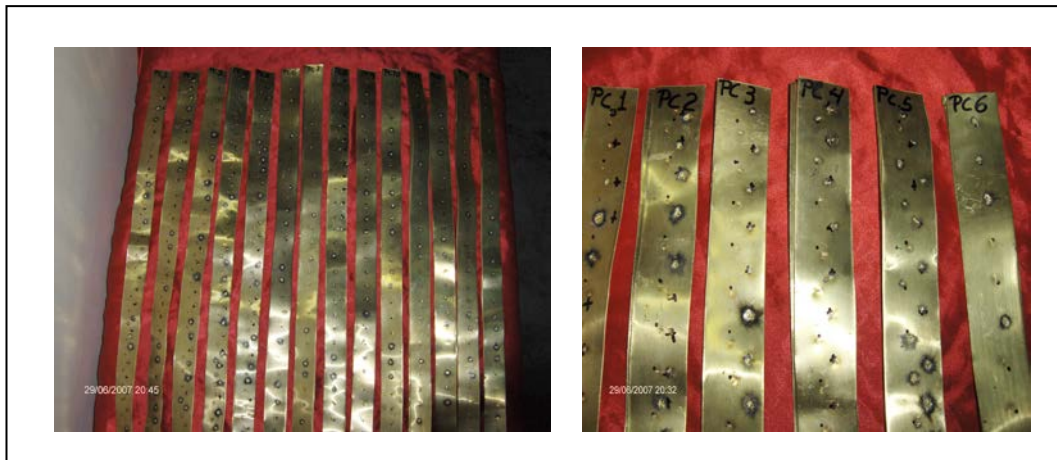


Fig. IV.6 láminas soldadas por el electrodo tipo puntiagudo (P), con enfriamiento. Fuente propia.

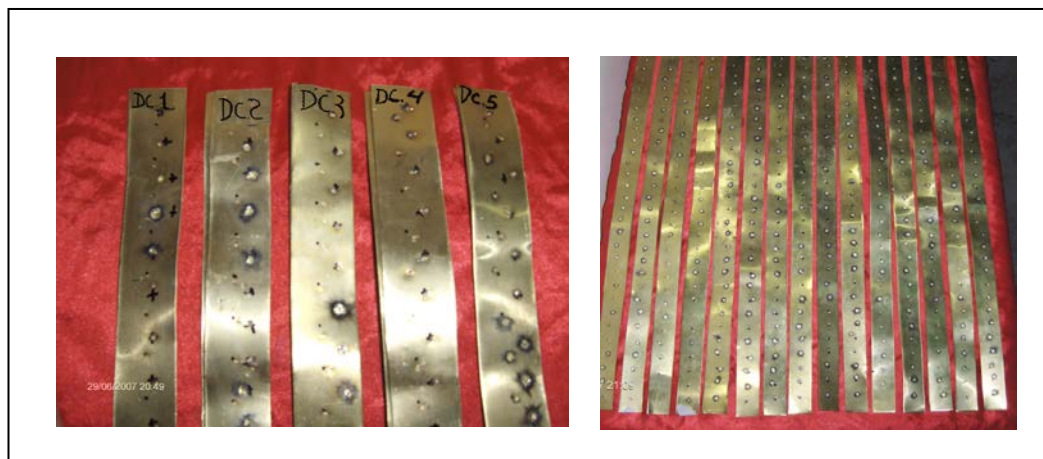


Fig. IV.7 láminas soldadas para el electrodo tipo Domo (D), con enfriamiento. Fuente propia.

En el anexo A.6 se tomo como referencia para los ensayos el cual debería ser el diámetro aproximado de la huella dejada por la soldadura en la lámina de bronce, dependiendo del espesor de la lámina.

IV.5. Ensayos de soldadura por resistencia eléctrica en función de la geometría del electrodo (sin enfriamiento).

Para este tipo de ensayo se realizó el mismo procedimiento del ensayo mencionado anteriormente, pero sin poner en funcionamiento el sistema de enfriamiento.



Fig. IV.8 Colocación de la lámina a soldar entre los electrodos. Fuente propia.



Fig. IV.9 limpieza de adherencia de bronce en la cara de los electrodos. Fuente propia.



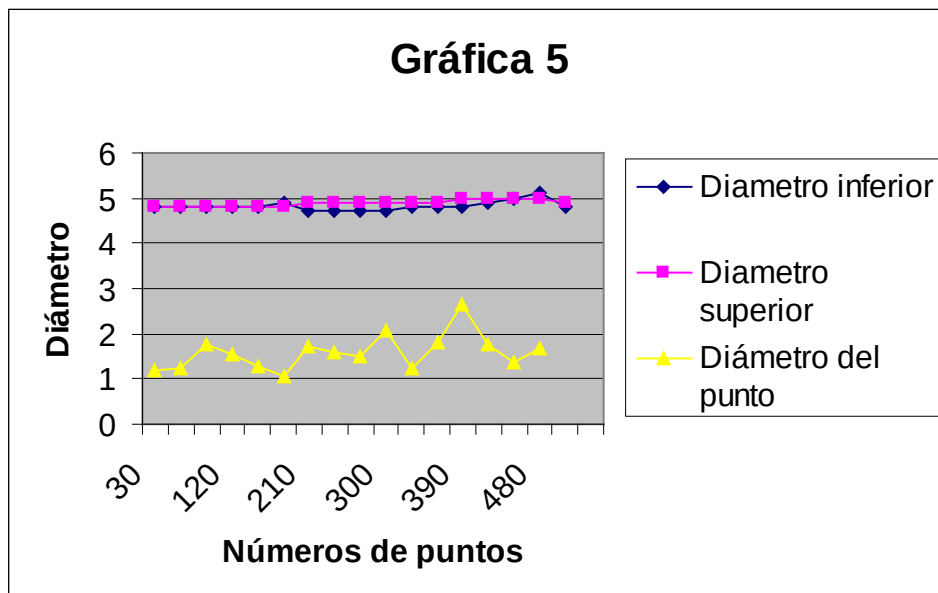
IV.5.1. Ensayos para la punta tipo puntiagudo (P).

Variación del diámetro del punto de soldadura para una geometría de electrodo tipo puntiagudo (P), sin la utilización de enfriamiento.

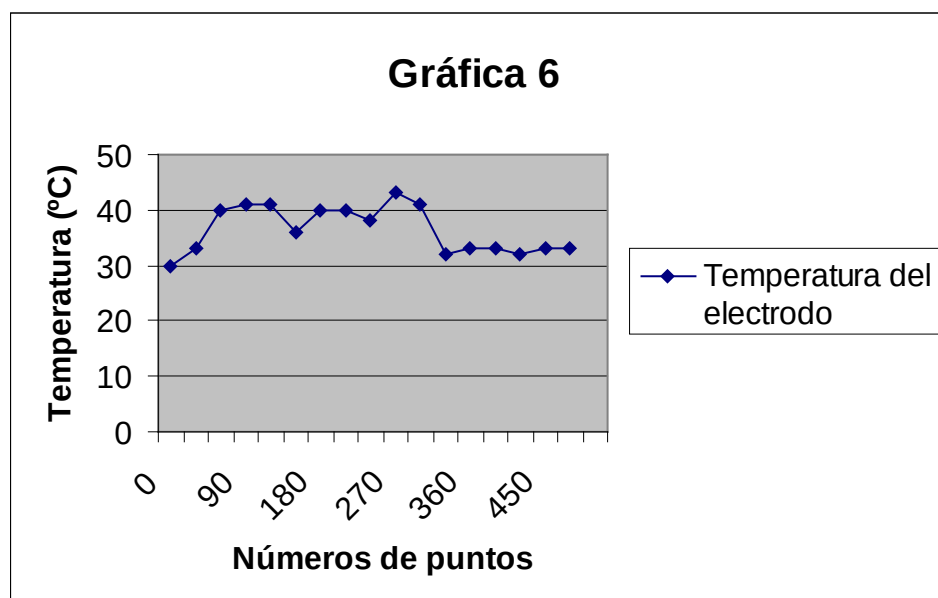
Tabla IV N° 6. Valores de diámetros y temperaturas.

N° de punto	Muestra	Electrodo				T (°C)	Ensayo Peel		
		Inferior		Superior			D1(mm)	D2(mm)	(D1+D2)/2
		D(mm)	H(mm)	D(mm)	H(mm)				
0	PS0	4,80	18,50	4,80	18,50	30			
30	PS1	4,80	18,50	4,80	18,50	33	1,20	1,20	1,20
60	PS2	4,80	18,50	4,8	18,50	40	1,10	1,40	1,25
90	PS3	4,80	18,50	4,80	18,60	41	1,65	1,85	1,75
120	PS4	4,80	18,50	4,80	18,60	41	1,60	1,45	1,53
150	PS5	4,90	18,60	4,80	18,60	36	1,50	1,10	1,3
180	PS6	4,70	18,60	4,90	18,40	40	1,13	0,98	1,06
210	PS7	4,70	18,60	4,90	18,50	40	1,60	1,80	1,70
240	PS8	4,70	18,50	4,90	18,50	38	1,60	1,60	1,60
270	PS9	4,70	18,40	4,90	18,60	43	1,55	1,45	1,5
300	PS10	4,80	18,40	4,90	18,60	41	2,18	2,00	2,09
330	PS11	4,80	18,50	4,90	18,90	32	1,40	1,10	1,25
360	PS12	4,80	18,50	5,00	18,80	33	1,93	1,73	1,83
390	PS13	4,90	18,60	5,00	18,85	33	2,85	2,43	2,64
420	PS14	5,00	18,60	5,00	18,95	32	1,3	2,2	1,75
450	PS15	5,10	18,65	5,00	19,40	33	1,65	1,08	1,37
480	PS16	4,80	18,50	4,90	19,30	33	1,63	1,70	1,67

Fuente: propia



Gráfica IV. N° 5. Comparación de los diámetros del electrodo puntiagudo con el punto de soldadura, sin utilizar el sistema de enfriamiento. Fuente propia.



Gráfica IV. N° 6. Temperatura de trabajo del electrodo puntiagudo sin utilizar el sistema de enfriamiento. Fuente propia.



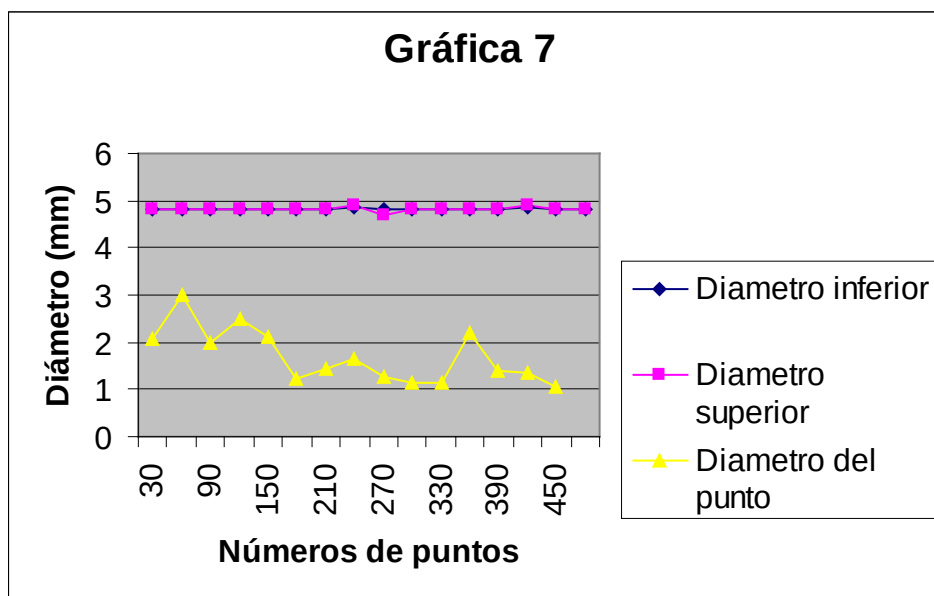
IV.5.2 Ensayos para la punta tipo domo (D).

Variación del diámetro del punto de soldadura para una geometría de electrodo tipo domo (D), sin que se halla utilizado enfriamiento.

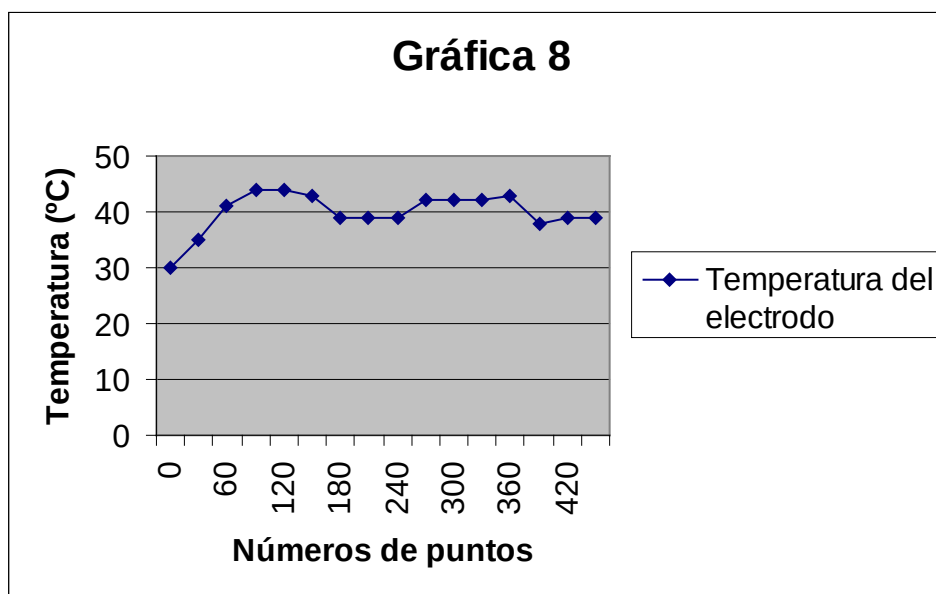
Tabla IV N° 7. Valores de diámetros y temperaturas.

N° de punto	Muestra	Electrodo				T (°C)	Ensayo Peel		
		Inferior		Superior			D1(mm)	D2(mm)	(D1+D2)/2
		D(mm)	H(mm)	D(mm)	H(mm)				
0	DS0	4,80	17,60	4,80	17,6	30			
30	DS1	4,80	17,60	4,80	17,6	35	2,15	1,95	2,05
60	DS2	4,80	17,70	4,80	17,75	41	3,25	2,75	3,00
90	DS3	4,81	17,70	4,80	17,80	44	2,00	2,00	2,00
120	DS4	4,80	17,80	4,80	17,80	44	2,43	1,53	2,48
150	DS5	4,80	17,80	4,80	17,80	43	2,10	2,15	2,13
180	DS6	4,80	17,80	4,80	17,90	39	1,20	1,23	1,22
210	DS7	4,85	17,85	4,90	17,90	39	1,30	1,60	1,45
240	DS8	4,80	17,60	4,70	17,60	39	1,70	1,60	1,65
270	DS9	4,80	17,60	4,80	17,6	42	1,38	1,18	1,28
300	DS10	4,80	17,60	4,81	17,60	42	1,25	1,05	1,15
330	DS11	4,80	17,70	4,81	17,70	42	1,15	1,15	1,15
360	DS12	4,81	17,70	4,81	17,70	43	1,60	2,75	2,18
390	DS13	4,85	17,78	4,90	17,75	38	1,05	1,70	1,38
420	DS14	4,80	17,60	4,80	17,60	39	1,35	1,35	1,35
450	DS15	4,81	17,70	4,80	17,75	39	1,10	1,03	1,07

Fuente: propia



Gráfica IV. N° 7. Comparación de los diámetros del electrodo (domo) con el punto de soldadura, sin utilizar el sistema de enfriamiento. Fuente propia.



Gráfica IV. N° 8. Temperatura de trabajo del electrodo domo sin utilizar el sistema de enfriamiento. Fuente propia.

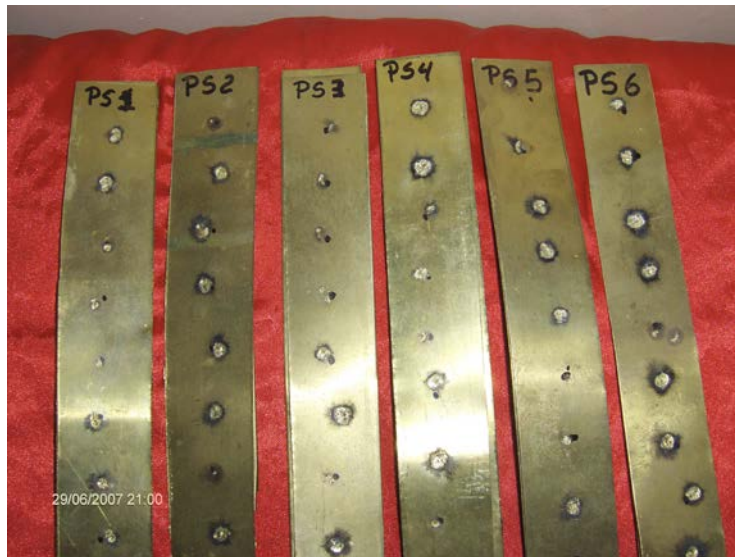


Fig. IV.10. láminas soldadas por electrodo tipo puntiagudo (P), sin enfriamiento. Fuente propia.

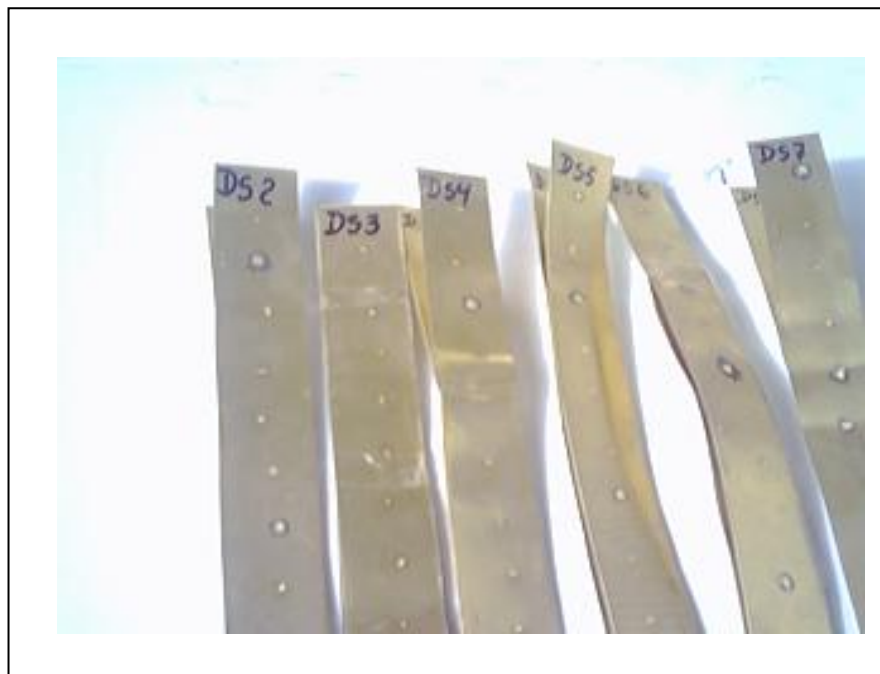


Fig. IV.11. láminas soldadas por el electrodo tipo domo (D), sin enfriamiento. Fuente propia.



V. ANALISIS DE RESULTADOS.

V.1. Ensayos piloto y prueba destructiva “Peel”.

- Los puntos de soldadura generados presenta una calidad superficial aceptable en la mayoría de los ensayos realizados, debido a que no presentaron fundición de la lámina.
- Las puntas de los electrodos tanto puntiagudo como de domo no presentaron ninguna deformación ni desgaste apreciable en comparación si se soldara con otro tipo de materiales el cual evidenciará unos desgastes y deformación visible.
- En la mayoría de los puntos de soldadura realizados presentan características de uniones aceptables solo en algunos casos que se separan con facilidad en el simple hecho de ser manipulados, esto ocurre porque el interruptor del temporizador no hace bien el contacto para que el tiempo de soldadura sea el adecuado.
- Los electrodos presentaron adhesión de bronce que fue desprendido de las láminas y se acumuló en la cara (superficie de soldeo). Esta adhesión se debió a que lámina se fundió en el punto de soldadura.
- La mejor calidad de soldadura se obtuvieron en la posición 3 del temporizador (14 ciclos = 23 microsegundos) y la posición 2 del interruptor de intensidad de corriente (4380 Amp.), sabiendo que un (1seg) segundo hay 60 ciclos esto ocurrió para el tipo de ensayo de soldadura sin aplicar el enfriamiento y para los dos tipos de geometría del electrodo.
- La mejor calidad de soldadura se obtuvieron en la posición 4 del temporizador (19 ciclos = 31 microsegundos) y la posición 2 del interruptor



de intensidad de corriente (4350 Amp.), en donde se sabe que en 1 segundo hay 60 ciclos esto es para el tipo de ensayo de soldadura con aplicación del sistema de enfriamiento y para los dos tipos de geometría del electrodo.

- Se realizó el procedimiento de limpieza de los puntos de los electrodos y no ocasionó desgaste alguno ni disminución en la dimensión en la cara del mismo para los dos tipos de electrodos. Esta limpieza fue realizada porque presentó adherencia de material.

V1.2 Ensayo de desgaste sin enfriamiento.

- Los puntos de soldadura generados presentaron una calidad aceptable en gran parte de los puntos de soldadura realizados solo algunas veces que presentan penetración en la lámina de bronce.
- Los electrodos son afectados por la adhesión de bronce en la cara (superficie de soldeo). Esto se debió a que la lámina de bronce se fundió en algunos puntos de soldadura.
- El contacto por compresión que son sometidos los electrodos no sufren ninguna deformación ni disminución del mismo, para ninguno de los tipos de electrodos tanto puntiagudo como domo.
- El procedimiento de limpieza que se realizó en las puntas de los electrodos no sufrió desgaste alguno.
- De los ensayos para la punta del electrodo tipo puntiagudo (P), la temperatura de trabajo oscila entre 30°C y 43° C aproximadamente según lo mostrado en la gráfica.



- El diámetro superior como el inferior de la punta del electrodo tipo puntiagudo (P) permanece casi constante. Esto se debió a que en la punta del electrodo no sufrió ningún desgaste ni deformación.
- Los puntos de soldadura que se efectuaron en las láminas de bronce presentaron un diámetro promedio entre 1mm a 2,7 mm para la punta de electrodo tipo puntiagudo (P).
- Para los ensayos realizados para la punta del electrodo tipo domo (D), la temperatura de trabajo oscila entre 38 °C y 44 °C aproximadamente según lo mostrado en la gráfica ya que esta temperatura fue tomada en la parte exterior del electrodo.
- Tanto para el diámetro superior como el inferior de la punta del electrodo tipo domo (D) permanece casi constante. Porque la punta del electrodo no sufrió ningún desgaste ni deformación
- En los ensayos realizados los puntos de soldadura dejado en las láminas de bronce presentan un diámetro promedio entre 1 mm a 3 mm para una punta de electrodo tipo domo (D).

V1.3 Ensayos de desgaste con enfriamiento.

- La calidad superficial de los puntos de soldadura generados en la lámina de bronce con enfriamiento fueron más aceptable que las hechas en los ensayos sin enfriamiento ya que estas presentan expulsión del material y quemadura por fundición en la superficie en algunos casos.
- Los electrodos son afectados por la adhesión de cierta porción de bronce que se desprende de la lámina y se acumula en su cara de soldeo, pero en menor porción que en los ensayo sin enfriamiento. Esta adherencia se debió a la fundición del material.



- El contacto por compresión que son sometidos los electrodos no sufren ninguna deformación ni disminución apreciable en las dimensiones del mismo para los dos tipos de electrodos.
- El procedimiento de limpieza que se realizo en las puntas de los electrodos no sufrió desgaste alguno.
- De los ensayos para la punta del electrodo tipo puntiagudo (P), la temperatura de trabajo oscila entre 30°C y 40° C aproximadamente, mostrada en la grafica.
- El diámetro superior de la punta del electrodo tipo puntiagudo (P) permanece casi constante pero para el diámetro inferior disminuye un poco esto se observo en la grafica realizada.
- Los puntos de soldadura que se efectuó en las láminas de bronce presentan un diámetro promedio entre 1mm a 1,7 mm para la punta de electrodo tipo puntiagudo (P).
- Para los ensayos realizados para la punta del electrodo tipo domo (D), la temperatura de trabajo oscila entre 29 °C y 40 °C según la grafica realizada, esta temperatura se debió a que fue tomada en la parte externa del electrodo y si la comparamos cuando no utiliza un sistema de enfriamiento es un poco menor.
- Tanto para el diámetro superior como el inferior de la punta del electrodo tipo domo (D) permanece casi constante. Porque el electrodo no sufrió desgaste.
- En los ensayos realizados los puntos de soldadura dejado en las láminas de bronce presentan un diámetro promedio entre 1,8 mm a 3 mm para una punta de electrodo tipo domo (D).



V.2 CONCLUSIONES.

- En el proceso de unión por soldadura por resistencia eléctrica se generó una repetida adhesión de bronce en las caras de los electrodos o superficie de soldeo. Esto se debe a que el punto de fusión del bronce es menor comparada con el del cobre y el calor que se genera se produce en la superficie de contacto entre las laminas y el electrodo Las aleaciones de cobre, mucho más duras que el metal puro, presentan una mayor resistencia y por ello no pueden utilizarse en aplicaciones eléctricas.
- El método de soldadura por resistencia eléctrica, por electropunto dió que es posible soldar láminas de bronce de espesor 0,5 mm. En la mayoría de los puntos realizado y se obtuvo una buena resistencia mecánica a la tracción y un buen acabado superficial...
- De las dos geometría de electrodo ensayada la más recomendable seria la de tipo puntiagudo, tanto con enfriamiento como sin enfriamiento, ya que se puede realizar más punto de soldadura con menos frecuencias de limpieza.
- La soldaduras por resistencia eléctrica (electropunto), de geometría de electrodo tipo puntiagudo como de domo, resulto más aceptable cuando el sistema de enfriamiento esta en funcionamiento esto permite que los punto de soldadura presente una mejor calidad superficial en láminas, por que se evidenció menos quemadura en la superficie de la lámina y desprendimiento del material soldado.



- En las graficas presentada de los ensayos realizado, se evidencia que los diámetros de las cara del electrodo no varían significativamente permaneciendo casi constante, esto debido que los electrodo no sufren una deformación apreciable sino una adhesión de material de bronce en su superficie de soldeo.
- Los electrodos que se usaron fueron de cobre, porque, comparado con la mayoría de los metales, el cobre tiene una resistencia eléctrica mas baja y una conductividad térmica mas alta, estos asegura que el calor se genera en la pieza de trabajo y no en los electrodos.
- Para el equipo de soldadura por resistencia eléctrica se determino una intensidad de 4380 Amperio y un tiempo de (14 ciclos = 23 microsegundos) para cuando no se emplea el sistema de refrigeración y una intensidad de 4350 Amper y un tiempo de (19 ciclos = 31 microsegundos) cuando se emplea el sistema de refrigeración, estos fueron los parámetros más aceptable para lámina de bronce de espesor de 0,5mm.
- La duración con que la corriente de soldadura fluye a trabase da la lámina es importante sin embargo, el dispositivo usado para encender y apagar la corriente es una parte critica del sistema debido que opera a una velocidad muy lenta ocasionando, que algunos punto de soldadura no se soldaran adecuadamente.



V.3 RECOMENDACIONES.

- Realizar estudio comparativo sobre la resistencia mecánica a la tensión de corte en función del diámetro del punto de soldadura y el espesor de la lámina.
- Realizar este mismo estudio para obtener la vida útil de electrodos utilizados al unir aleaciones de acero de uso automotriz.
- Realizar un sistema de acople por roscas en los porta electrodos que mejore el asiento y fijación de los electrodos reduciendo el desgaste por deslizamiento entre las puntas.
- Realizar el mismo estudio utilizando los mismos tipos de puntas pero con otras láminas de diferente material como, acero galvanizado o acero inoxidable.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- R.L. O'Brien. Manual de soldadura tomo II (8th ed.): Pearson Educación.
- Enciclopedia Mecánica de taller (1994). Soldaduras uniones y calderería (4^{ta} ed). Madrid: cultura de ediciones, s.a.
- Henry Horwitz. Soldaduras aplicaciones y practica (1990). Alfaomega.

- Paginas Web:

- <http://www.weldnoz.com> -system.
- <http://www.drweld.com>
- <http://www.spotwelding.com>
- <http://www.cesvimap.com>
- es.wikipedia.org/wiki/Bronce - 74k

NOMENCLATURA

Variables	Descripción	Unidad
DA	Primera lectura del diámetro del punto de soldadura	(mm)
DB	Diámetro de la dupla B del punto de soldadura.	(mm)
DC	Diámetro de la dupla C del punto del punto	(mm)
Dp	Diámetro promedio del punto de soldadura	(mm)
D1	Primera lectura del Diámetro del punto de soldadura	(mm)
D2	Segundo lectura del Diámetro del punto de soldadura	(mm)
H	Altura asignada del electrodo	(mm)
I	Intensidad de corriente	(mm)
Q	Calor generado	(mm)
R	Resistencia eléctrica	(Ohm)
T	Temperatura de los electrodos	(°C)
T	Tiempo de soldadura.	(s)