

T  
621.8  
SOL.



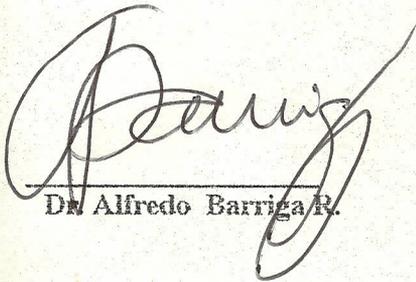
**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Mecánica**

FABRICACION Y PRUEBAS DE ROLDANAS PARA  
MAQUINAS AUTOMATICAS DE SOLDADURA POR  
RESISTENCIA ELECTRICA.

**TESIS DE GRADO**  
Previa a la Obtención del Título de:  
**INGENIERO MECANICO**

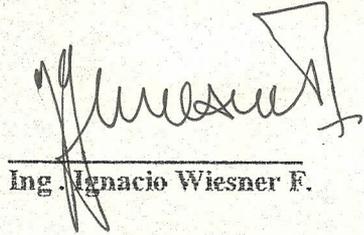
Presentada por:  
**Edwin F. Solórzano Romero**

Guayaquil - Ecuador  
1.995



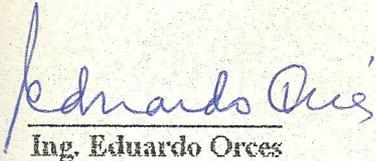
Dr. Alfredo Barriga R.

Decano de la Facultad de  
Ingeniería en Mecánica



Ing. Ignacio Wiesner F.

Director de Tesis



Ing. Eduardo Orce

Miembro del Tribunal



Ing. Omar Serrano

Miembro del Tribunal

A Dios, guía espiritual de todos mis actos.

A mis padres y hermanos, quienes con amor y sacrificio han sido una constante fuente de estímulo para alcanzar mis metas.

A mis compañeros, por la sincera amistad que me brindaron durante estos años de estudio.

Agradezco a todas las personas e Instituciones que hicieron posible culminar este proyecto y de manera muy especial al Ingeniero Ignacio Wiesner por su apoyo incondicional y su inmensa lealtad a la causa de la investigación.

DECLARACION EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL ".

( Reglamento de Exámenes y Titulos Profesionales )

---

Edwin Solórzano Romero

## RESUMEN

En el presente trabajo se va a ensayar una aleación de cobre para fabricar roldanas de soldadura, las cuales van a ser probadas en el proceso de fabricación de envases de hojalata.

Como base de materia prima se va a reciclar material que contenga elementos de la aleación seleccionada.

Para la fabricación se utilizará el proceso de fundición propuesto en una Tesis de Grado (Ref.1) y los pasos de manufactura son: colado en molde metálico, mecanizado de la roldana y finalmente el tratamiento térmico.

La práctica de fusión lleva control de colada en planta por medio de inspección visual, análisis químico vía absorción atómica y de ensayos mecánicos de medición de dureza.

En cuanto al control de calidad de la roldana, se realizará pruebas en una máquina de soldar VAA 20 WIMA para garantizar una duración del cabezal de roldana acorde con las necesidades impuestas.

## INDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	6
INDICE GENERAL	7
INDICE DE FIGURAS	9
INDICE DE TABLAS	11
INTRODUCCION	12
CAPITULO I. FUNDAMENTO TEORICO	14
1.1 Nociones básicas de la soldadura por resistencia eléctrica.	14
1.2 Descripción de la máquina de soldar.	18
1.3 Descripción del sistema de soldadura.	25
1.4 Hojalata como material de trabajo.	30
1.5 Características del material para roldanas.	33
1.6 Selección del material para roldanas.	34
CAPITULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL	40
2.1 Metodología.	40
2.2 Equipo experimental y materiales.	43
2.3 Proceso de Fusión.	44
2.4 Proceso de Mecanizado.	53
2.5 Tratamiento térmico.	55
2.6 Pruebas de la roldana en la máquina de soldar.	57
CAPITULO III. DISCUSION DE RESULTADOS	73
3.1 Proceso de Fabricación	73
3.2 Calificación de la roldana.	75

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
ANEXOS	87
BIBLIOGRAFIA	98

## INDICE DE FIGURAS

No.	Pag
1 Circuito de soldadura	17
2 Máquina de soldar.	19
3 Esquema de funcionamiento de la máquina de soldar.	22
4 Roldanas de soldar.	27
5 Distribución de temperaturas en varias localizaciones durante la soldadura.	30
6 Diagrama para la elaboración de la roldana.	42
7 Horno utilizado en la fusión.	47
8 Molde metálico utilizado para el colado.	48
9 Roldana después del proceso de fusión.	49
10 Dimensiones de la roldana para mecanizar.	53
11 Herramienta de corte para mecanizar la roldana.	54
12 Roldana mecanizada.	55
13 Esquema del tratamiento térmico utilizado.	56
14 Diagrama que muestra los resultados del control de dureza de la prueba a.	58
15 Diagrama que muestra los resultados del control de dureza de la prueba b.	59
16 Curva empírica de desgaste de la roldana fabricada.	61
17 Ensayo de rotura.	66
18 Ensayo de doblado-rebordeado.	67
19 Resultados del ensayo de doblado rebordeado.	67
20 Ensayo de bola.	69
21 Resultados del ensayo de bola.	69
22 Ensayo de presión en baño de agua	71

23 Cordón de soldadura realizado con la roldana fabricada.

72

## INDICE DE TABLAS

No		Pag.
I	Especificaciones de la hojalata	31
II	Materiales para electrodos según R.W.M.A.	36
III	Norma R.W.M.A de materiales para electrodos.	37
IV	Propiedades físicas del cobre al cromo.	39
V	Propiedades mecánicas del cobre al cromo.	39
VI	Resultados de los ensayos de planta.	52
VII	Resultados de composición química obtenidos en el proceso de fusión.	52
VIII	Resultados de dureza después del proceso de fusión.	52
IX	Resultados de dureza de la roldana después del tratamiento térmico.	56
X	Resultados de desgaste de la roldana.	61
XI	Parámetros de ajuste.	63

## INTRODUCCION

Elithu Thonson patentó la soldadura eléctrica por resistencia en 1877. En sus comienzos esta nueva modalidad de soldaje encontró buena acogida en los países más avanzados técnicamente; sin embargo, no alcanzó su pleno desarrollo hasta después de la segunda Guerra Mundial.

La automatización de las máquinas que disminuye el costo de producción, la ausencia práctica de deformaciones, la disminución de la corrosión y la nitidez con que se exteriorizan las soldaduras, son ya razones suficientes para explicar la universalidad alcanzada por las máquinas de soldadura eléctrica por resistencia.

Uno de los elementos que más trabaja en la máquina de soldar por resistencia es la roldana. Aunque las roldanas de estas máquinas son de tipo especial por su diseño, es necesario revisarlas periódicamente, ya que incluso con un mantenimiento correcto, debido al intenso trabajo, las roldanas se desgastan rápidamente durante el funcionamiento. Muchos fabricantes han colocado roldanas de aleaciones especiales, pero el desgaste sigue siendo muy fuerte si las máquinas se emplean en un trabajo continuo.

Por todo lo antes anotado, el cabezal de roldana es uno de los componentes más importantes de la máquina de soldar por resistencia, ya que su funcionamiento correcto decide en gran escala sobre la calidad del cordón de soldadura. Conforme a ello se ha querido desarrollar un nuevo cabezal de roldana, para una máquina automática de soldar, de la Empresa Crown Cork del Ecuador.

Las únicas razones impuestas como metas en el nuevo desarrollo del cabezal es alcanzar la duración del cabezal de roldana en funcionamiento hasta entonces o de superarla, y en cuanto al costo se ha de proceder a escoger un material de alta conductividad y gran rendimiento, siendo muy interesante reducir el costo y brindar un rápido suministro a las empresas, ya que en ocasiones los problemas de importación de roldanas causan paralización en la producción y consecuentemente grandes pérdidas económicas.

## CAPITULO I

### 1.1 NOCIONES BASICAS DE LA SOLDADURA POR RESISTENCIA ELECTRICA.

El principio de la soldadura por resistencia se basa en el reconocimiento de que todo material se calienta al ser atravesado por una corriente eléctrica.

La soldadura por resistencia es una forma mecanizada de la soldadura por forja, pudiendo describirse como una forma moderna del arte de la fragua. Quizás el procedimiento pueda definirse mejor como la unión de dos metales prensando uno con otro y calentando las partes próximas al lugar de contacto por medio del paso de una corriente a través de la resistencia de contacto de la unión.

Partiendo de esta base se ha creado una serie completa de máquinas, desde la simple soldadura por puntos para chapa fina hasta la gran soldadura a tope por presión y calentamiento eléctrico capaz de soldar secciones de gran superficie, pero el sistema es fundamentalmente el mismo en todos los casos.

Los tipos principales de máquinas son los siguientes:

- Soldadora por puntos y soldadora de pistola o de pinzas, la soldadora por puntos tienen los brazos separados del transformador.

Generalmente la diferencia entre una soldadora de pistola y una soldadora por puntos es que en el primer caso la soldadora es llevada al trabajo, mientras que en el segundo caso el trabajo es llevado a la soldadora.

- Soldadora de resaltes o protuberancias, el procedimiento consiste en la unión por resistencia entre piezas metálicas, una de las cuales por lo menos ha sido provista de resaltes que forman los únicos puntos de contacto entre las piezas.

- Soldadura por roldanas, se diferencia de la soldadora por puntos en que en vez de ser fijos los electrodos y pasar siempre la corriente a través de los mismos puntos de contacto, se emplea un par de roldanas entre las cuales pasa el trabajo.

- Soldadura a tope, utiliza un procedimiento en el cual las piezas se unen a tope, manteniéndose una presión de contacto hasta finalizar la soldadura.

- Soldadura a tope por presión y calentamiento, muy parecida a la soldadura a tope, utiliza un procedimiento en el cual la resistencia de contacto se mantiene a un nivel alto, ejerciendo una pequeña presión durante el período en que pasa la corriente.

Después de haber alcanzado un valor adecuado la temperatura de las piezas próximas al punto de contacto, se corta la corriente y se aumenta la presión entre las piezas que se van a unir. En el sistema de soldadura continua, el metal pasa entre dos roldanas giratorias (electrodos de soldadura).

Estas roldanas asumen tres funciones:

- Transmisión de la corriente eléctrica  $I$
- Transmisión de la fuerza de soldadura  $F$
- Transmisión del movimiento de avance  $V_s$ .

La alta intensidad de la corriente alterna baja tensión es suministrada a través de un transformador. Para el mismo flujo de corriente el material buen conductor, por ejemplo cobre, que presenta una baja resistencia eléctrica se calienta menos que el material no conductor, por ejemplo acero, que presenta una resistencia eléctrica elevada, calentándose por lo tanto mucho más.

El circuito de soldadura está constituido de la siguiente manera, como se aprecia en la figura No 1. La corriente  $I$  procede del transformador (1) y atraviesa la barra de corriente (2), los cabezales de roldanas (3) y (5), el producto de soldar (4) y retrocede al transformador pasando por el brazo inferior (6).

Debido a su alta resistencia, las dos partes del producto a soldar (4) se encuentran sometidos a un fuerte calentamiento provocado por el paso de la corriente  $I$ . A cada semionda positiva y negativa, especialmente en la cresta de corriente  $I_m$ , ambas partes adquieren un estado pastoso. Bajo el efecto de la fuerza de soldadura  $F$ , las dos piezas en estado pastoso son mantenidas fuertemente comprimidas y se unen íntimamente hasta formar, una vez enfriadas, una estructura soldada uniforme.

(2,6,3,5) La barra colectora, el brazo inferior y, principalmente los cabezales de soldadura, están sometidos adicionalmente a una intensa refrigeración por agua, lo que les protege contra calentamientos inadmisibles.

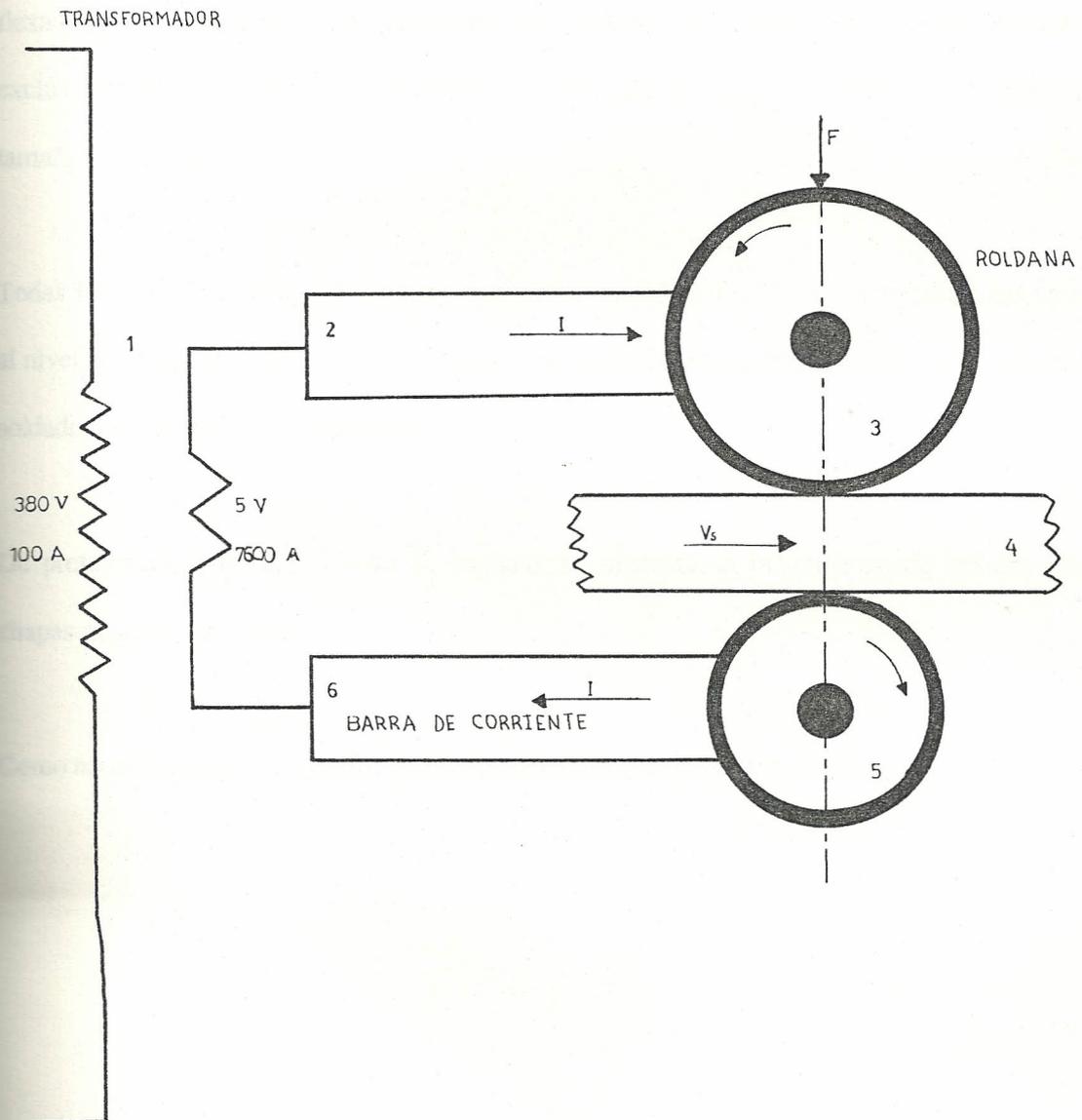


Figura. No 1. Circuito de Soldadura

## 1.2 DESCRIPCION DE LA MAQUINA DE SOLDAR

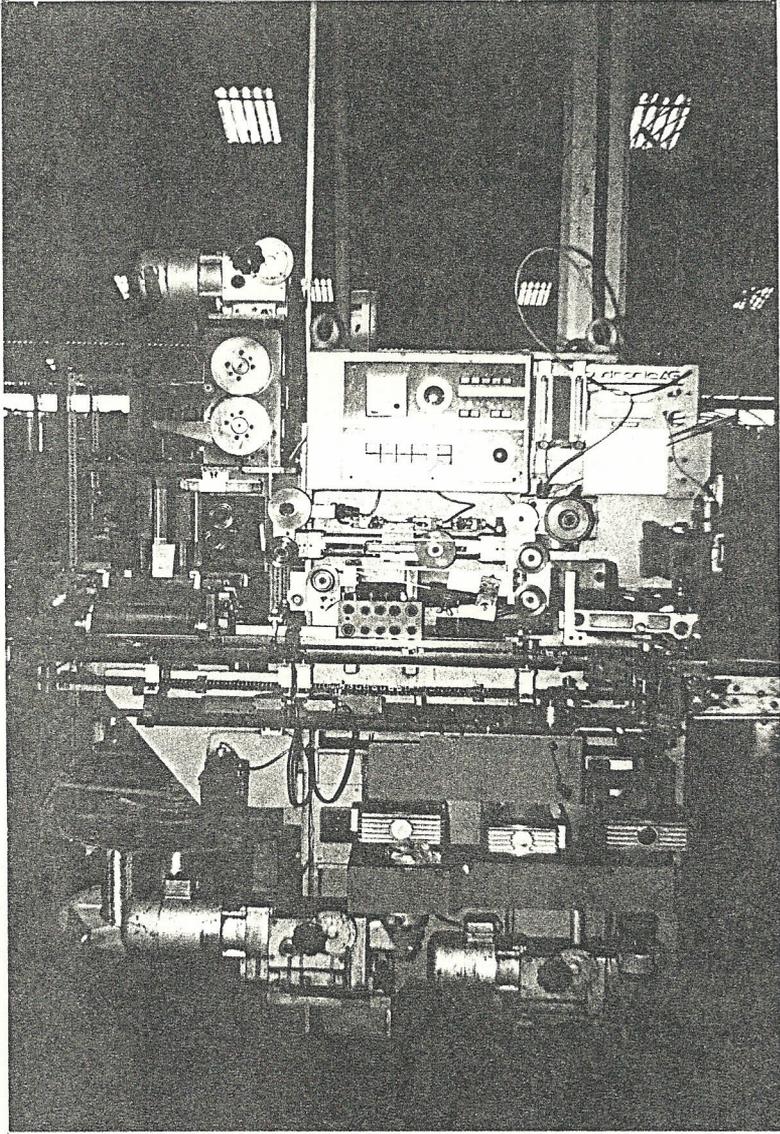
### CONCEPTO

La máquina modelo VAA 20 WIMA figura No 2, es una máquina de soldar con proceso de soldadura enteramente automática: Forma una unidad de funcionamiento entre el apilador, la flexadora, la curvadora y la soldadura de costura. El trabajo de operario consiste exclusivamente en alimentar la máquina con una pila de chapas previamente cortadas al tamaño necesario.

Todas las otras operaciones, tales como aspiración, introducción, flexión, curvado, transporte al nivel de soldadura y soldadura de costura, o sea hasta la producción completa de un cilindro soldado, se efectúan automáticamente.

De preferencia se trabajan virolas de hojalata; no obstante, la máquina puede trabajar con chapas negras o especiales.

Como accesorio, se puede acoplar un equipo de barnizado de protección continua.



*Figura. No 2. Máquina de Soldar*

## ESPECIFICACIONES

Máquina soldadora enteramente automática de hojalata con sistema WIMA-Monohilo con desapilador, flexadora y curvadora.

<b>Modelo :</b>	VAA 20 WIMA
<b>Campo de Trabajo:</b>	- Chapas estañadas electrolíticamente, negras, TFS y otras chapas a demanda.
<b>Dimensiones de las virolas de Chapas :</b>	- Espesor de la chapa 0,18 ... 0,30 mm - Diámetro 52 ... 108 mm - Longitud 80 .... 280 mm
<b>Recubrimiento de la Chapa:</b>	aprox. 1mm
<b>Producción:</b>	Dependiente de longitud de las virolas de Chapas, calidad de la chapa y paso de la cadena de transporte .
<b>Conexión eléctrica:</b>	A la red de corriente trifásica; potencia conectada, sección de la conducción de entrada y protección por cortocircuitos
<b>Conexión del agua de refrigeración:</b>	Presión de la agua de refrig. mín 6 bar consumo del agua de refrig. aprox. 8 l/ min, temperatura de la agua de refrigeración a la entrada max 10° C.
<b>Conexión de aire comprimido:</b>	Presión del aire comprimido min. 6 bar
<b>Peso de la máquina:</b>	aprox. 1600 Kp
<b>Dimensiones de la máquina:</b>	aprox. 180 / 130// 200 cm (l / a / h).

## FUNCIONAMIENTO

El recorte de hojalata aspirado de la pila es introducido entre los rodillos transportadores mediante los dedos de empuje en el momento del ritmo de trabajo previamente ajustado en el reductor del desapilador. Una vez pasado el control electrónico de doble hoja, el puesto de corte previo eventualmente existente y el flexionador, la chapa es introducida al curvador y formada.

Los dedos de empuje de la carrera de transporte I se encargan de la transferencia del cuerpo curvado hacia la cadena de transporte II, la cual introduce la virola entre las roldanas de soldadura. Ambas cadenas de transporte funcionan intermitentemente y en sincronismo. Sin embargo, el transcurso del movimiento presenta algunas diferencias.

La corriente de soldadura permanece conectada durante todo el ciclo de trabajo y ni siquiera se interrumpe entre dos operaciones de soldadura consecutivas. Dicha corriente de soldadura puede ser reducida al principio y al final de cada soldadura.

Un esquema de funcionamiento se muestra en la figura No 3.

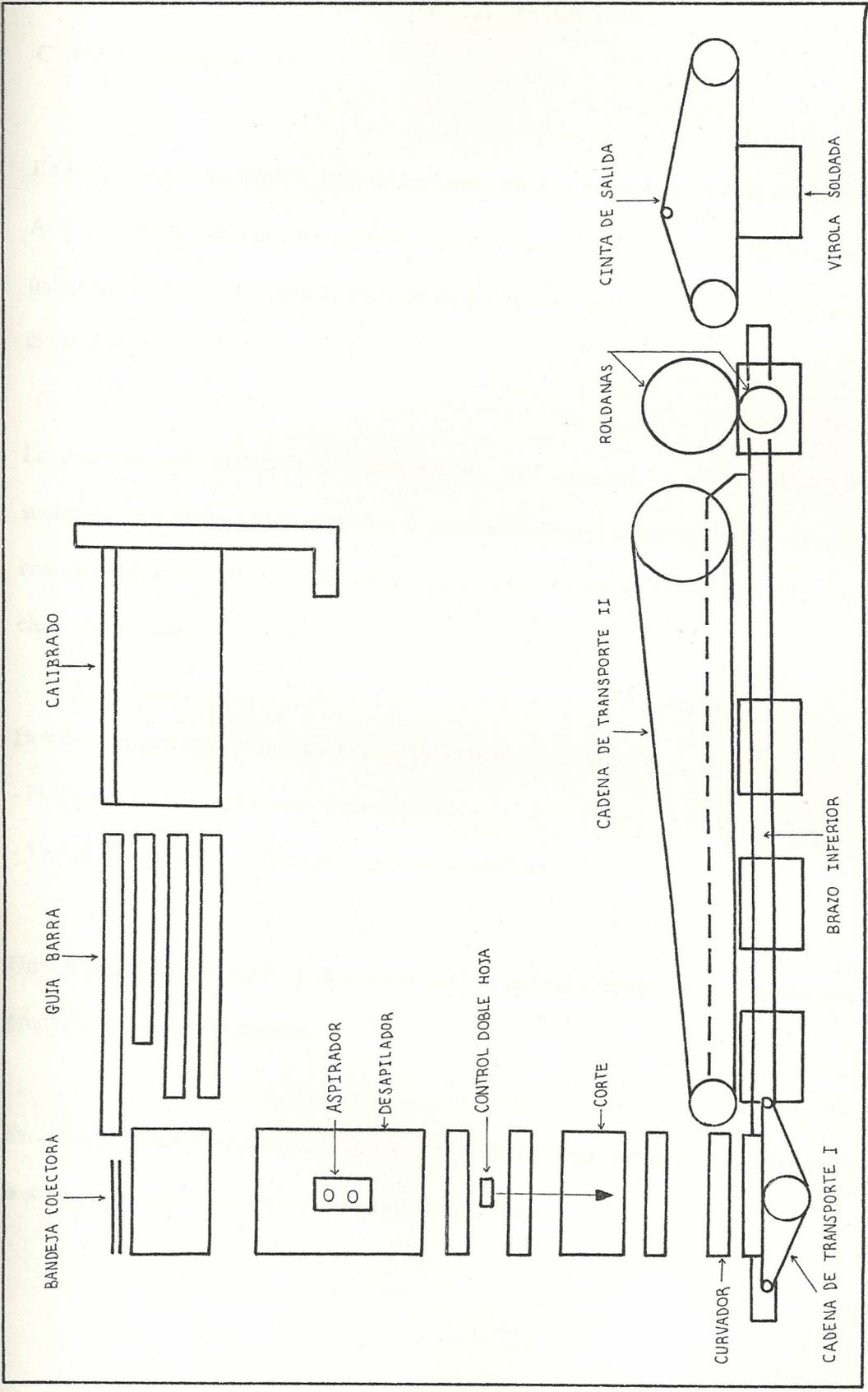


Figura No 3 Esquema de Funcionamiento de la Máquina de soldar

## PARAMETROS DE AJUSTE DE LA MAQUINA

### Corriente de Soldadura

En RSEW como en RSW el calor es generado por la resistencia al flujo de corriente eléctrica. Al comenzar los ciclos de calentamiento y enfriamiento y al comenzar la velocidad de soldado la magnitud de la corriente queda determinada por la intensidad a la cual el electrodo penetra en el metal base.

La corriente de soldadura es seleccionada por ensayos y pruebas destructivas de la soldadura en relación a otras variables de operación. Con el menor tiempo de calentamiento o con una mayor velocidad de soldadura, más corriente es requerida y el probable deterioro del electrodo es mayor.

Dos factores que causan variación en la corriente de soldadura son:

- Fluctuaciones de voltaje en la línea de poder.
- Variaciones en la impedancia en el circuito secundario.

Una densidad de corriente mínima fluye por un limitado tiempo el cual es requerido para producir la fusión en la interfase.

Excesiva densidad de corriente causará la expulsión del metal soldado, cavitación, cracking en la soldadura y bajas propiedades de resistencia mecánica.

### **Presión de Soldadura**

La resistencia eléctrica es influenciada por la presión de soldadura y por los efectos sobre la resistencia de contacto en la interfase entre las piezas de trabajo.

La fuerza del electrodo está considerada a ser la fuerza dinámica del electrodo sobre la pieza de trabajo y esto es la presión resultante producida por esa fuerza que afecta la resistencia de contacto.

La pieza a ser soldada debe ser sujeta estrechamente junto a la localización de la soldadura para facilitar el paso de la corriente.

Los efectos sobre la generación de calor total pueden ser invertidos. Cuando la presión es incrementada, la resistencia de contacto y el calor generado en la interfase decrecerá. Al incrementarse el calor previo al nivel de amperaje, el tiempo de soldadura debe incrementarse para compensar la reducción de la resistencia.

### **Velocidad de Soldadura**

La velocidad de soldadura depende del material de trabajo, el espesor de este, la resistencia de la soldadura y los requerimientos de calidad. En general la velocidad de soldadura permisible es más baja en aceros inoxidable y metales no ferrosos, porque hay restricciones sobre la tasa de calentamiento para evitar expulsión del metal soldado.

Con movimiento continuo, la corriente de soldadura debe ser incrementada y el tiempo de calentamiento debe decrecer. Hay alguna velocidad superior que los requerimientos de la corriente de soldadura puede causar indeseables quemaduras en la superficie y roldanas picadas. Esto acelerará el desgaste de la roldana. Usar excesivas velocidades de soldadura causan rápida reducción en la resistencia de la soldadura igual que con una alta corriente de soldadura.

Cuando la velocidad de soldadura se incrementa, la corriente de soldadura también debe incrementarse para desarrollar suficiente calor en el metal de trabajo.

### **1.3 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE SOLDADURA SOUDRONIC**

El sistema de soldadura Soudronic se distingue por el empleo de un hilo de cobre, el cual sirve de electrodo intermediario, pasando entre las roldanas y la pieza a soldar. De esta manera se evita la formación habitual de depósitos de estaño fundido en la hojalata. El perfil del cabezal de roldana debe permanecer constantemente mantenido.

En el desarrollo ulterior del sistema Wima el hilo de cobre redondo pasa por rodillos aplastadores donde se le da la forma rectangular plana de la sección de alambre con dos lados largos paralelos, durante la deformación en frío entre los rodillos perfiladores, el alambre de cobre se endurece a consecuencia del cambio de estructura. Gracias a este efecto se evita la deformación posterior del alambre de cobre entre las roldanas de soldadura, a pesar de la elevada presión de soldadura.

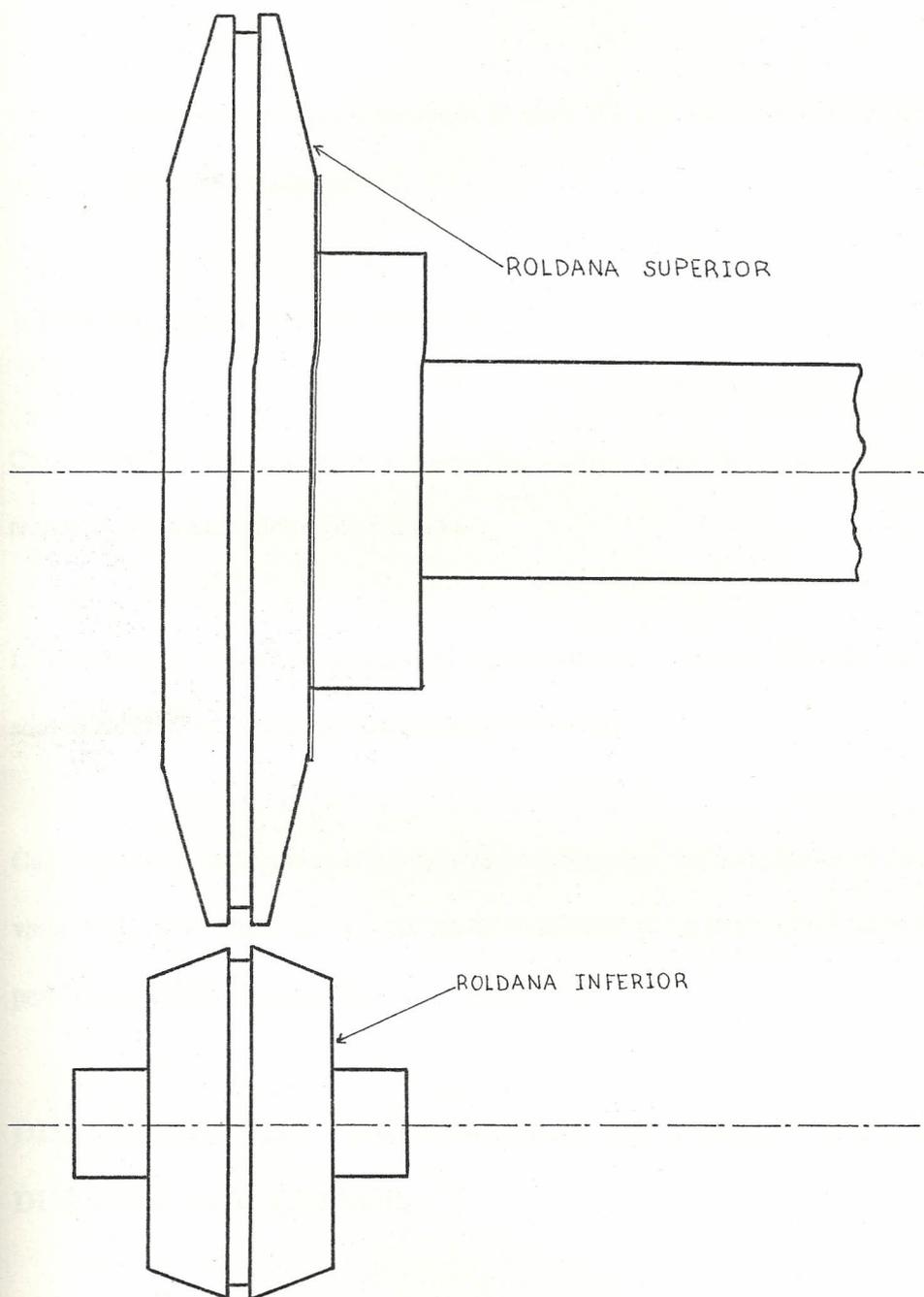
Para el proceso de soldadura propiamente dicho es importante que el alambre de cobre presente una elevada conductividad eléctrica. La razón de ello es que al atravesar la corriente de soldadura el alambre de cobre, no debe formarse excesivo calor en el propio alambre. Por el contrario, el calor producido por el proceso de soldadura se extrae a través del alambre de cobre. Dado que el mismo hilo de cobre es llevado primero a través de la roldana de soldar superior y después a través de la inferior se obtiene un especial rentabilidad del sistema.

El sistema Wima precisa un solapado de chapa de menos de 1 milímetro con lo que resulta un cordón de soldadura aplastado.

El cordón de soldadura aplastado presenta, con relación al solapado normal, considerables ventajas en lo que se refiere al recubrimiento del cordón con pintura o por polvo así como para el rebordeado y obturado de los cuerpos soldados.

## ROLDANAS DE SOLDADURA

Las roldanas ( fig No. 4 ) sirven de soporte para el hilo de cobre que avanza en la ranuras de las mismas. Ellas transmiten la corriente y la presión de soldadura al material a soldar (extremos de virola solapados). Adicionalmente, transportan la virola a la velocidad de soldadura a través de la herramienta de calibrado para entregarla finalmente a la línea de tratamiento posterior. La roldana superior se encuentra motorizado. Ella transmite la presión de soldadura correspondiente que procede de un muelle ajustable. La roldana inferior es arrastrada por el hilo de cobre



*Figura No 4 Roldanas de Soldar*

Ambas roldanas están intensamente refrigeradas mediante agua fría que circula en el interior.

Para la transmisión de la corriente desde la parte fija a la parte giratoria de los electrodos, se utiliza un contacto por líquido.

### **REFRIGERACION POR AGUA**

Cuatro circuitos de refrigeración separados se hacen cargo de la disipación de calor en los respectivos componentes de la máquina.

La temperatura máxima de entrada del agua es de 10° C. Ambos cabezales de roldanas están sometidos a una refrigeración particularmente intensa.

Cada circuito de refrigeración se encuentra vigilado por un controlador de caudal. El caudal varía de 3.5 a 4 l/min, para los puntos de conmutación. La temperatura varía de 15 a 18 ° C, para los puntos de conmutación.

### **DISTRIBUCION DE TEMPERATURAS EN VARIAS LOCALIZACIONES DURANTE LA SOLDADURA.**

El calor será generado en cada uno de las 7 localizaciones que se muestran en la figura No 5 en proporción a la resistencia de cada sitio. Hay efecto, como mínimo 7 resistencias conectadas en serie con lo cual se explica la distribución de temperaturas.

De 1 y 7, la resistencia eléctrica del material de la roldana, 2 y 6, la resistencia de contacto entre la roldana y el metal.

La magnitud de esa resistencia depende de la condición de la superficie del metal base y la roldana, la medida y contorno de la cara de la roldana y la fuerza de la roldana. (La resistencia es aproximadamente inversamente proporcional a la fuerza de contacto). Estos son los puntos de generación de calor alto, excepto la superficie del metal base no hace alcance la temperatura de fusión durante el paso de la corriente, debido a la alta conductividad térmica de las roldanas y el hecho que hay agua de enfriamiento.

3 y 5, la resistencia total del metal base, que es directamente proporcional a la resistividad y el espesor, e inversamente proporcional a la sección transversal del camino de la corriente.

4, la interfase del metal base donde esta la localización de la formación de la soldadura. Ese es el punto de resistencia más alto y por consiguiente, el punto de mayor generación de calor. Puesto que el calor es generado en los puntos 2 y 6, el calor generado en la interfase no es fácilmente perdido por las roldanas.

El calor generado en 2 y 6 es rápidamente disipado dentro de la roldana, por el agua de enfriamiento 1 y 7. El calor en 4 es disipado tanto más lentamente dentro del metal base.

Por lo tanto como la corriente de soldadura continúa para fluir, la tasa de temperatura se eleva en el nivel 4 mucho más rápido que en 2 y 6. La temperatura de soldadura está indicada por la línea vertical.

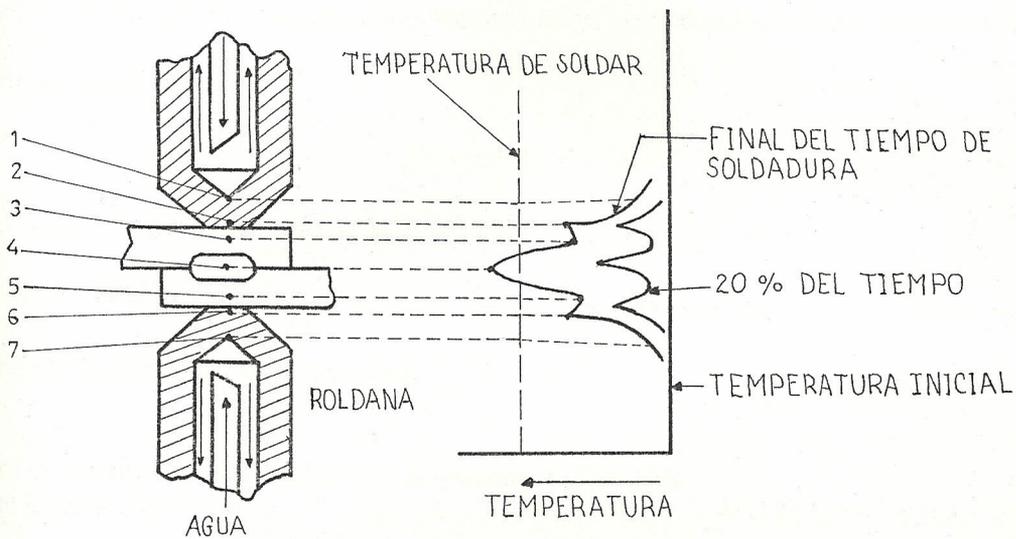


Figura. No 5 Distribución de Temperaturas en varias localizaciones durante la soldadura

#### 1.4 HOJALATA COMO MATERIAL DE TRABAJO

La máquina soldadora utiliza hojalata como material de trabajo, para la fabricación de envases de tres piezas, porque se ahorra material, gran velocidad de fabricación y elevado grado de aprovechamiento.

El material constituye una base fundamental para alcanzar los resultados que actualmente exige el mercado.

La hojalata es un acero plano sin alear, pobre en carbono y laminado en frío, con un espesor inferior a 0.5 mm.

La superficie de la hojalata está cubierta de estaño aplicado electrolíticamente. El proceso electrolítico permite aplicar la capa de estaño simultáneamente por ambos lados, con espesor

iguales o diferentes. Sus características técnicas están normalizadas internacionalmente como se muestra en la tabla I.

TABLA I. Especificaciones de la Hojalata

Propiedades de resistencia mecánica

Valor de dureza HR 30T (utilización de yunque de diamante sobre hojalata desestafiada).	46 - 74 DR8 + DR9
Valores de dureza en la gama "Temper"	A - C o Temper 1 - 5
Resistencia a la tracción Rm	300 - 500 N / mm <sup>2</sup> DR - 800 N/mm <sup>2</sup>

Estado de la superficie

Estafiado	E1 - E4
Capa de pasivación	0,25 - 1,00 lb / base box
Capa de estaño libre	max. 15 mg / m <sup>2</sup>
Película de aceite	min. 1 g / m <sup>2</sup>
Condensación de la capa de barniz en los bordes del envase.	máx. 10 mg / m <sup>2</sup>
Tolerancias	
Variaciones en los espesores	0,5 g/m <sup>2</sup>
Rugosidad superficial "Stone Finish"	máx ± 4 % según normas
Valores CLA = Centre Line Average)	(determinación por pesaje)
Tenor en carbono	0,45 - 0,65 micrones
Tamaño de grano según ASTM	17 - 25 m -inch
	máx. 0,12 %
	6 - 12 (200 : 1)

## SOLDABILIDAD DE LA HOJALATA

La soldabilidad del acero base cuyo contenido de carbono como es menor al 0.18 % se puede considerar como excelente.

La presencia de estaño en la chapa baja la soldabilidad, como el metal es revestido se incrementa la resistencia de contacto y de este modo este tipo de soldadura de acero revestido requerirá alta corriente de soldadura y fuerza del electrodo que son necesarios para soldar similares espesores de acero sin revestimiento.

La velocidad de soldadura debe ser limitada por el excesivo escape del calentamiento de la roldana, y la interfase. Exceso de enfriamiento debe usarse para permitir altas velocidades de soldadura y mejorar la vida del electrodo.

La soldadura se realizará con gran precisión en la presión, intensidad y tiempo, por exigirlo así el bajo punto de fusión de la capa superficial.

La superficie estañada exige un ciclo de soldadura de más duración que el del acero base, se puede estimar que en general los ciclos de soldadura precisos en cada caso serán los más importantes considerando naturalmente los factores fundamentales en todo proyecto: calidad, responsabilidad y economía.

La soldadura se debe realizar con electrodos de dureza Brinell de unos 180 y una temperatura de reblandecimiento de aproximadamente  $375^{\circ}\text{C}$  ( Norma DIN 44759 );

empleándose materiales de mejores cualidades eléctricas y térmicas cuando el aumento de la resistencia sea compensado por la superficie de contacto, teniendo en cuenta siempre que el empleo de materiales con mayor resistencia mecánica y buena conductividad eleva en gran proporción el costo de la soldadura, sino se efectúa en grandes series.

### 1.5 CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PARA ROLDANAS

Un buen material para construcción de electrodos debe poseer las siguientes cualidades:

- 1.- Máxima conductividad eléctrica y calorífica.
- 2.- Máxima resistencia mecánica, dureza en frío.
- 3.- Máxima resistencia mecánica, manteniendo la dureza incluso a elevadas temperaturas.

- 1.- El calor debe generarse en la zona de contacto entre las piezas a soldar, mientras que las superficies deben mantenerse a la mínima temperatura posible.

Si la resistividad del material es elevada, la resistencia de contacto será también elevada y se calentará mucho tanto el electrodo como la pieza, por lo que la conductividad eléctrica del electrodo ha de ser elevada. Lo mismo sucede con su capacidad de conducción calorífica, pues el electrodo debe evacuar rápidamente el calor acumulado en la zona de contacto.

- 2.- Debe soportar los impactos mecánicos del electrodo sobre la pieza. Si la dureza en frío no es suficiente, se deformará la superficie de la roldana modificando su geometría y por tanto irá disminuyendo la densidad de corriente
- 3.- La dureza ha de mantenerse también a la temperatura máxima instantánea de trabajo del electrodo, o sea, durante el tiempo de paso de corriente. Si la temperatura del

electrodo sobrepasa cierto valor, específico para cada material, la dureza cae bruscamente, resultando un electrodo reblandecido que se deteriorará rápidamente.

El material más asequible que cumple las exigencias de conductividad eléctrica y calorífica es el cobre. Incluso en calidad dura, el cobre puede alcanzar una relativa buena resistencia mecánica, sin embargo, no tolera las temperaturas a que está sometida la superficie de los electrodos durante el soldeo, con lo que éstos se reblandecen y al cabo de corto tiempo deben ser mecanizados.

La adición de una serie de elementos, como son cromo, circonio, cobalto, berilio, cadmio, níquel, etc, consiguen que la dureza se mantengan también a la temperatura de trabajo, por lo que existen numerosas aleaciones de cobre que se pueden aplicar.

## 1.6 SELECCION DEL MATERIAL PARA ROLDANAS

Para seleccionar el material que se va a usar, en la fabricación de roldanas, se va a tomar en cuenta 3 aspectos fundamentales.

- Material de Trabajo.
- Características de la máquina de soldar.
- Características de materiales para roldanas.

Si tomamos en cuenta el material de trabajo, utilizando la tabla II, para placa de acero recubierta con estaño (hojalata). Se tiene que el material que se puede utilizar según las

especificaciones R.W.M.A es del grupo A clase 1. En el grupo A clase 1, ver tabla III, se encuentran 3 aleaciones: Cobre-Cadmio, Cobre-Cromo y Cobre-Circonio.

Para estas tres aleaciones la dureza y la conductividad eléctrica son las mismas, entonces el factor de selección es la temperatura de ablandamiento. La temperatura de ablandamiento necesaria es  $375^{\circ}\text{C}$ .

La aleación cobre-cadmio tiene una temperatura de ablandamiento de  $300^{\circ}\text{C}$ , no cumple con este requisito, con lo cual queda descartada. Para la aleación cobre-circonio la temperatura de ablandamiento es  $500^{\circ}\text{C}$ , cumple con esta temperatura, pero según R.W.M.A. está considerada como aleación especial (mayor costo, mayor dificultad en el proceso de fabricación y menos asequible) lo cual hace que esta aleación quede descartada. Para la aleación cobre-cromo la temperatura de ablandamiento es de  $475^{\circ}\text{C}$ , como no tiene ningún carácter especial y cumple con el requisito de la temperatura de ablandamiento, entonces la aleación cobre-cromo es el material que va a ser usada en la fabricación de roldanas.

Vale la pena recalcar que la aleación cobre-cadmio tiene menor afinidad hacia los recubrimientos que la aleación cobre-cromo, pero como va a ser utilizado en un sistema de soldadura Soudronic que elimina por completo el inconveniente de adherencia de estaño fundido a la roldana durante el proceso de soldadura, por lo tanto no hay ningún problema.

TABLA II Materiales para electrodos según R.W.M.A

RESISTANCE WELDER MANUFACTURERS' ASSOCIATION ELECTRODE MATERIALS FOR SPOT-WELDING SIMILAR AND DISSIMILAR METALS  
R.W.M.A. RECOMMENDED ELECTRODE MATERIALS TO WELD SIMILAR METALS:

NON-FERROUS

ALUMINUM	ALUMINUM ALLOYS DURALUMINUM	CUPRO NICKEL	NICKEL SILVER	NICKEL	NICKEL ALLOYS MONEL NICHROME (HIGH RES)	BRASS YELLOW 25%-40% ZINC	PHOSPHOR BRONZE GRADE A, C & D	SILICON BRONZE EVERDUR OLYMPIC DURONIZ Herculoy
B I II	B I II	A II	B II	A II	A II	B II	B II	B II
I II 2	I II 2	II	II	II	II	II	II	II

FERROUS

TO WELD SIMILAR METALS READ BLOCK UNDER METAL TO BE WELDED	TIN PLATE STEEL	TERNE PLATE STEEL	GALVANIZED IRON ZINC PLATE	CADMIUM PLATE STEEL	CHROME PLATE STEEL	STAINLESS STEEL 18-8 TYPE	SCALY HR STEEL	CR-STEEL HR-STEEL CLEAN
B I II	A I	A I	A I II	B I	A II	A III II	B I II	A II
I 3	I 3	I 3	I II 3	I 3	II 3	III II	I II 2	II

TO WELD DISSIMILAR METALS

NON-FERROUS ALLOYS	NICKEL ALLOYS	NICKEL	PHOSPHOR BRONZE	SILICON BRONZE	YELLOW BRASS	NICKEL SILVER
CUPRO NICKEL	B II	B II	B II	B II	B II	B II
SILICON BRONZE EVERDUR OLYMPIC DURONIZ Herculoy	B II	B II	B II	A II	B II	B II
NICKEL SILVER	B II	B II	B II	B II	B II	B II
NICKEL ALLOYS	A II	B II				
STAINLESS STEEL 18-8 TYPE	B II	B II				

ALUMINUM
B I II
I II 2

ALUMINUM ALLOYS DURALUMINUM
B I II
I II 2

**ELECTRODES**  
R.W.M.A. SPECIFICATIONS  
I- GROUP A CLASS 1  
II- GROUP A CLASS 2  
III- GROUP A CLASS 3  
NOTE: ELECTRODE MATERIALS IN CIRCLES ARE SECOND CHOICE-EXAMPLE  
**SPECIAL INFORMATION**  
1- SPECIAL CONDITIONS REQUIRED  
2- GOOD PRACTICE RECOMMENDS CLEANING BEFORE WELDING.  
3- IF PLATING IS HEAVY, WELD STRENGTH IS QUESTIONABLE.

THIS CHART ADOPTED BY THE RESISTANCE WELDER MANUFACTURERS ASSOCIATION EMBODIES THE BEST GENERAL RECOMMENDATIONS THAT CAN BE MADE FOR THE SELECTION OF THE PROPER ELECTRODE MATERIALS FOR SPOT WELDING SIMILAR AND DISSIMILAR METALS

FERROUS ALLOYS	STAINLESS STEEL 18-8 TYPE	CHROME PLATE STEEL	CADMIUM PLATE STEEL	GALVANIZED IRON	TERNE PLATE STEEL	TIN PLATE STEEL
GOLD ROLLED STEEL HOT ROLLED STEEL CLEAN	A II III	A II	B II	B I	A I II	B I
TIN PLATE STEEL	B II III	B II	B I II	B I	B I II	B I
TERNE PLATE STEEL	I 3	I 3	I 3	I 3	I 3	I 3
GALVANIZED IRON ZINC PLATE	B II	B II	B I			
CADMIUM PLATE STEEL	B II	B II				
CHROME PLATE STEEL	A III II					

THESE RECOMMENDATIONS FOR ELECTRODES CAN BE EFFECTIVE ONLY WHEN THE OTHER ESSENTIAL FACTORS OF THE CORRECT TIME CURRENT AND PRESSURE ARE PROPERLY CONTROLLED.

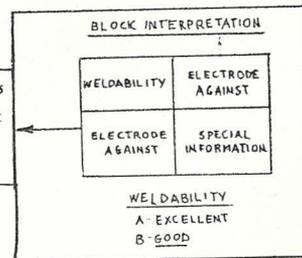


TABLA III . Norma R.W.M.A de materiales para electrodos

Los materiales se dividen en 3 grupos : A, B y C.

Cada grupo se subdivide de acuerdo con sus propiedades.

Grupo	Clase	Composición	Conduc- tibilidad x IACS	Dureza	Nomenclaturas
Grupo A Clase 1 a 9.  Aleaciones en base a Cobre.	Clase 1	Cobre - cadmio Cobre - Cromo Cobre - Circonio	80	65 Rb	1.16200 1.18200 1.12000
	Clase 2	Cobre - Cromo Cobre-Cromo-Circonio	75	75 Rb	2.18200 2.18150
	Clase 3	Cobre-Cobalto-Berilio Cobre-Niquel-Berilio Cobre-Berilio	45	90 Rb	3.17500 3.17510 3.18000
	Clase 4	Cobre-Berilio	20	33 Rc	4.17200
	Clase 5	Bronce - Aluminio	18	65 Rb	5.95300
Grupo B, Clase 10 a 19  Metales refrac- tarios y mezclas con cobre.	Clase 10	45 % Cobre-55% Tungsteno	45	72 Rb	10.74450
	Clase 11	25% Cobre- 75% Tungsteno	40	94 Rb	11.74400
	Clase 12	20% Cobre- 80% Tungsteno	35	98 Rb	12.74350
	Clase 13	Tungsteno	30	69 Rc	13.74300
Grupo C, clase 20 Materiales especiales	Clase 14	Molibdeno	30	85 Rb	14.42300
	Clase 20	Cobre con dispersión de Aluminio	75	75 Rb	20.15760

## COBRE AL CROMO (C18200, C18500)

El cobre que contiene hasta 1 % de cromo forma aleaciones de temple de precipitación que combinan una resistencia mecánica considerable con una alta conductividad eléctrica y térmica.

Como la resistencia mecánica aumenta con el tratamiento térmico más bien que con el trabajo en frío, estas propiedades se conservan a temperaturas en que el cobre ordinario se reblandecería.

Además las propiedades son uniformes en todo el metal, mientras que los efectos del trabajo en frío son con frecuencia más intensos en la superficie por haber estado en contacto con los rodillos o matrices, particularmente en el caso de secciones gruesas.

El cobre al cromo es adecuado especialmente para aplicaciones en que se requiere una resistencia considerablemente mayor que la del cobre, en combinación con más alta conductividad eléctrica y térmica. Por esta razón se fabrican con él los electrodos y portaelectrodos de Soldadura por Resistencia en todas sus gamas. En las tablas IV y V se muestran las propiedades físicas y mecánicas de la aleación cobre al cromo.

TABLA IV. Propiedades Físicas del Cobre al Cromo

---

Densidad a 20 °C .....	8.89 Mg/m <sup>3</sup>
Coefficiente de expansión lineal a 20 °C .....	17.6 µm/ mK
Calor específico a 20 °C .....	385 J/Kg K
Temperatura de liquidus y solidus. ....	1075 y 1070 °C
Modulo de elasticidad .....	130 Gpa
Conductividad Térmica	
TBOO Temper .....	171 W/m K
THO4 Temper .....	324 W/m K
Conductividad Eléctrica	
TBOO Temper .....	40 % IACS
THO4 Temper .....	80 % IACS
Resistividad eléctrica THO4 temper .....	21.6 nΩm

---

Metals Handbook. Vol 2, 1988

TABLA V . Propiedades Mecánicas (para varilla de ½ " de Diámetro)

---

Resistencia a la Tensión	
TBOO Temper .....	310 MPa
THO4 Temper .....	530 MPa
Elongación	
TBOO Temper .....	40 %
THO4 Temper .....	16 %
Dureza THO4 Temper.....	82 HRB

---

Metals Handbook. Vol 2, 1988

## CAPITULO II

### DESARROLLO EXPERIMENTAL

#### 2.1 METODOLOGIA

La metodología usada se puede dividir en 5 etapas:

- 1.- Reconocimiento y operación de la máquina de soldar.
- 2.- Análisis de la roldana en funcionamiento.
- 3.- Análisis del material a ser soldado.
- 4.- Pruebas de fusión.
- 5.- Mejoramiento de propiedades y control de calidad de la roldana fabricada.

La elaboración de la roldana con la aleación Cu-Cr, se realiza de acuerdo al diagrama de la figura No 6.

El método experimental usado para el proceso de fusión de la aleación, recoge experiencias de una tesis (Ref.1), pero con algunos cambios, como por ejemplo que se trabaja con material reciclado de electrodos y el tipo de cromo utilizado. Lo cual ha creado prácticamente otro proceso de fabricación de la aleación

Se ha experimentado un proceso de pruebas repetidas de fusión y colado, asistidos con análisis de laboratorio hasta obtener una roldana de similar calidad a la de Soudronic.

## FUSION DE LA ROLDANA

El proceso comienza desde el reciclaje de la materia prima, material de electrodos compuestos de cobre y cromo, donado por la empresa Coenansa. Este tipo de materia prima consta de pequeñas piezas de puntas y soportes de electrodos que no necesitan ser troceados por su tamaño. La única operación que se realiza para preparar la materia prima, es liberar la grasa presente en las mismas, para lo cual se introduce en detergente o en ácido débil.

Finalmente enjuagar con abundante agua para liberar el detergente o el ácido.

Como paso seguido se procede a calcular las cargas de cada metal, cobre y cromo de acuerdo a la composición que se necesite.

Una vez calculadas las cargas, se procede a la fundida y su posterior colado en un molde metálico previamente diseñado para este tipo de pieza.

La muestra final obtenida después de la fundida es pesada también, y se extrae 0.5gramos de viruta fina. La muestra se extrajo con una broca de  $\frac{1}{4}$  de pulgada.

A las respectivas muestras se practicó un análisis químico en el Instituto de Ciencias Químicas de la ESPOL para determinar la composición química real obtenida después de la fusión, lo que garantiza el éxito de la roldana fundida. Para elaborar la roldana se fundió 3 veces, agregando remanentes de cromo a la colada hasta obtener el 1% de cromo que se necesitaba y no tener imperfecciones en la pieza fundida.

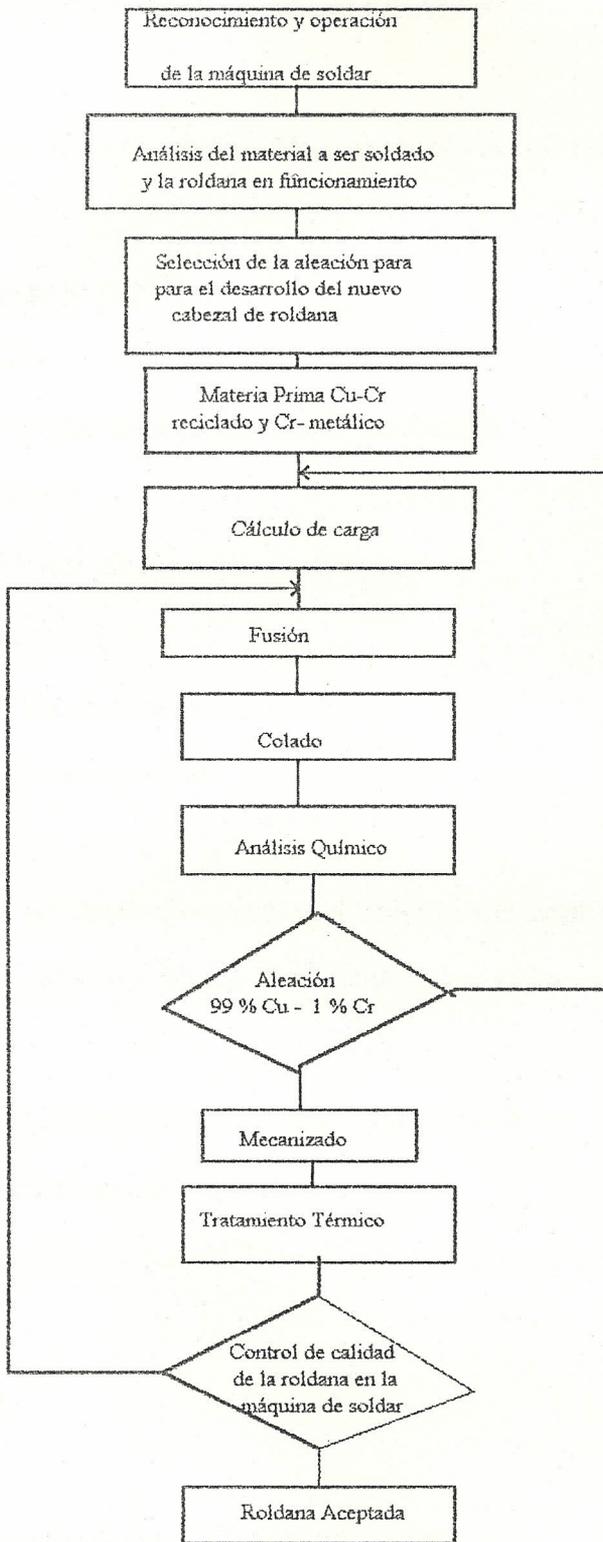


Figura No. 6 Diagrama para la elaboración de la roldana

## 2.2 EQUIPO EXPERIMENTAL Y MATERIALES

Para el proceso de fusión de la roldana se utilizó los siguientes equipos en la Empresa INTRAMET..

- Tenazas y equipo de seguridad
- Crisol de Grafito
- Horno de fusión que utiliza propano como combustible.
- Termómetro digital.
- Un soplador blower de 2 pulgadas de descarga.
- Molde metálico.
- Balanza de 20 Kg. de capacidad.
- Balanza de 1 Kg. de capacidad.

Para el proceso de tratamiento térmico en el laboratorio de metalurgia de la ESPOL se utilizó:

- Un horno de tratamientos térmicos hasta 1100 °C y precisión  $\pm 1^\circ\text{C}$ . LINGBERG.

Las pruebas de laboratorio se realizaron con la ayuda de los siguientes equipos en el laboratorio de metalurgia de la ESPOL.

- Durometro ROCKWELL escala B con carga de 100 Kilos y un indentador de bola de 1/16 de pulgada.
- Microscopio

Los materiales empleados para la fusión son:

- Cobre-Cromo reciclado.
- Cromo metálico.

- Dexosidante boruro de calcio. FOSECO
- Carbón vegetal.

Para el mecanizado de la roldana en la Empresa CROWN CORK se utilizó.

- Torno Universal P400 II IMOR .
- Herramienta de corte WIDIA calidad THM.

Para el mecanizado del molde metálico en INTRAMET se utilizó.

- Torno Turri T - 220
- Fresadora Holke super F - 12 - V

Para las pruebas de calidad de la roldana en CROWN CORK se utilizó.

- Soldadura WIMA VAA 20.
- Máquina para ensayo de bola.
- Máquina para ensayo de doblado-rebordeado
- Máquina para ensayo de rotura
- Máquina para ensayo de presión en baño de agua

### 2.3 PROCESO DE FUSION

De todo el proceso de fabricación de la roldana, el proceso de fusión es el más importante porque en este se adquiere las propiedades mecánicas de la roldana. Los parámetros más importantes que se controlaron aquí son:

- Calidad de la materia prima.
- El proceso de fusión en sí.
- El proceso de colado.
- Composición química.

### CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima está constituida por material reciclado, que es una aleación cobre-cromo con 0.33% de cromo, corresponde a puntas y soportes de electrodos de máquinas de soldar por resistencia eléctrica.

Se utilizó también cromo metálico obtenido por proceso pirometalúrgico, cuya composición es la siguiente:

Cromo	97.5 %
Vanadio	1.5 %
Hierro	1 %
Silicio	0.25%
Aluminio	0.5 %
Carbono	0.03%
Azufre	0.02%
Fósforo	0.04 %

El cromo añadido es para completar el porcentaje de cromo necesario en esta aleación.

## PROCESO DE FUSION

Debido a las limitaciones, la fusión se realizó en un horno no compacto ( fig.No 7 ), que utiliza como combustible propano, y aunque este tipo de combustible ocasiona disolución de hidrógeno ( $H_2$ ), se trabajó a la mínima temperatura posible  $1300\text{ }^\circ\text{C}$ , que está en el rango de temperatura de fusión recomendada. con llama levemente oxidante para evitar de alguna manera este problema.

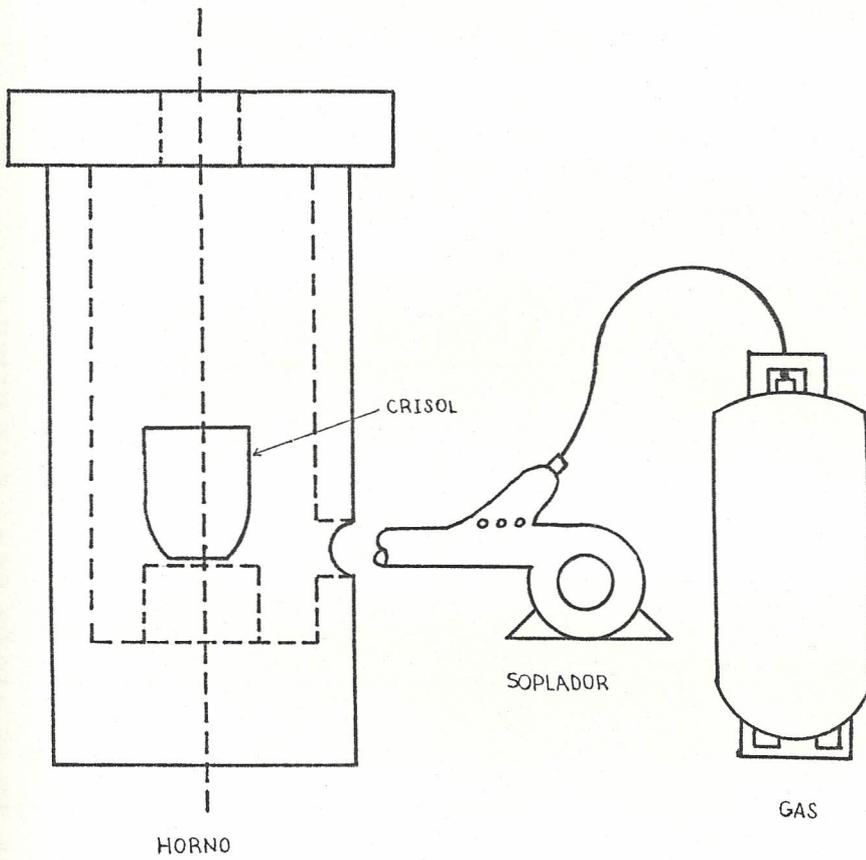
El horno se calentó previamente junto con el crisol antes de introducir la carga del material reciclado, en lo posible en pequeñas cantidades hasta completar toda la carga y de esta manera que la fusión se realice en el menor tiempo posible, para evitar la oxidación del cromo presente.

Una delgada capa usada como cobertor compuesta de vidrio y carbón vegetal seco se utilizó para proteger el metal fundido.

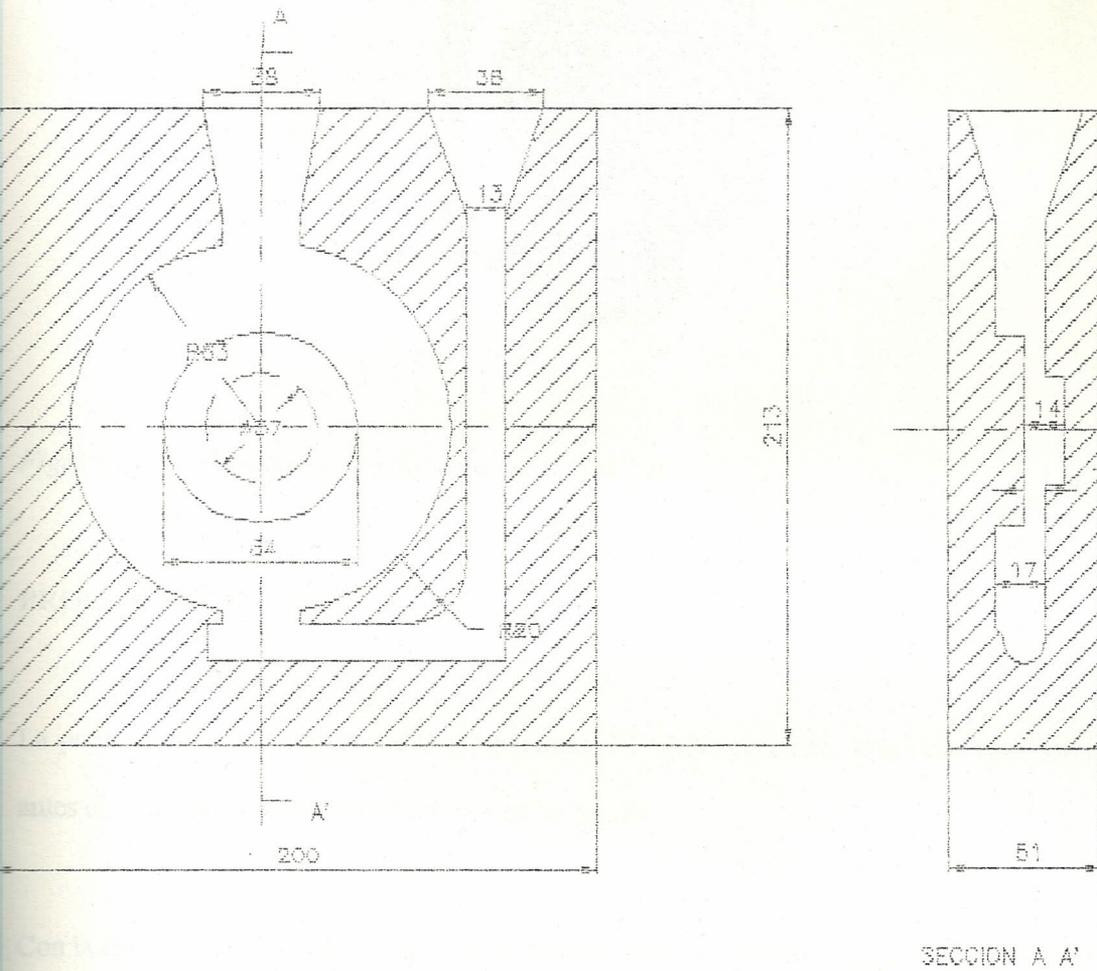
Luego que el material reciclado estaba fundido en aproximadamente 90 minutos se introduce el cromo metálico al caldo, en acto seguido se pone el dexasidante boruro de calcio en porcentaje de 1% de la colada. En estos momentos la etapa de fusión se termina para continuar con la colada, en el molde metálico que se muestra en la figura No 8.

Los principales defectos que se encontró en la fusión son los siguientes:

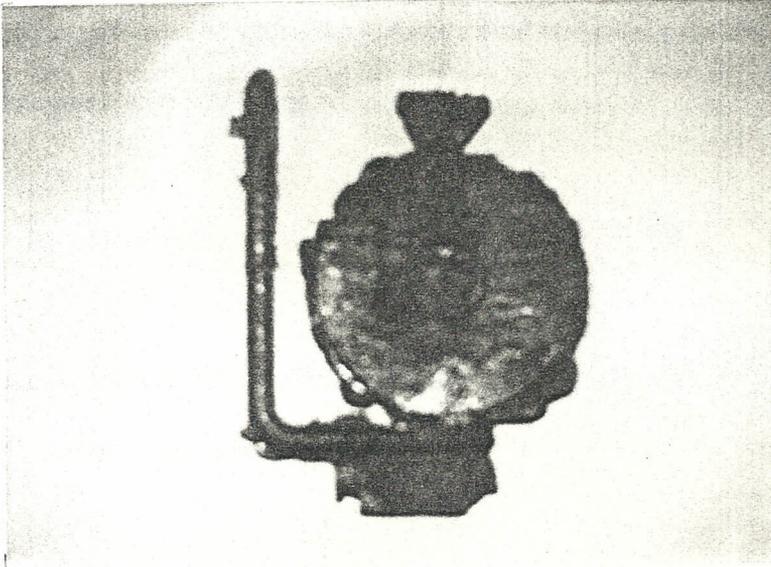
- Porosidades en la fundición.
- Baja relatividad de conductividad eléctrica y propiedades mecánicas.
- Excesiva escoria.



*Figura No 7 Horno utilizado en la Fusión*



*Figura No 8 Molde metálico utilizado para el colado*



*Figura No 9 Roldana después del proceso de Fusión*

## PROCESO DE COLADO

La parte principal del colado es la temperatura del molde metálico, este debe estar caliente antes de colar para evitar imperfecciones en las piezas.

Con la experiencia obtenida en repetidas coladas se llegó a establecer que la mejor temperatura a la que debe llegar el molde está en el rango de 240 a 270 °C.

Se debe vertir la colada lo más rápido en flujo laminar si es posible. Debido a que éste tipo de aleación tiene un margen estrecho entre las curvas de liquidus y solidus en su diagrama de equilibrio, se debe colar muy caliente en un rango de temperatura de 1204 a 1260 °C. En el colado hay que evitar remover la escoria para que no se mezcle con la aleación.

Después de colar, el caldo se enfriará rápidamente en el molde metálico, y se obtendrá la roldana fundida como se vió en la figura No 9.

### COMPOSICION QUIMICA

El objetivo que se deseaba llegar en la fusión era obtener una aleación 99 % de cobre 1% de cromo, para lo cual se realizó 3 fusiones.

La idea básica de la primera fusión fue determinar la pérdida de cromo de la aleación, con este resultado encontrado se podía aplicar a las siguientes fusiones y sobreañadir cromo para obtener el porcentaje deseado.

Para tener una idea del porcentaje de cromo que se debía añadir, se puso en práctica el método de control visual por ensayo de planta. Los resultados del ensayo de planta indicaban si se requería o no más cromo.

Para tener un buen control de la composición química la muestra de la primera fusión fue llevada al laboratorio de química para determinar la cantidad de cromo en porcentaje que se obtuvo en la aleación. Se determinó que en la fusión de la aleación se pierde alrededor del 40 % del cromo, por oxidación del mismo.

### ENSAYOS PRELIMINARES

Nuestros ensayos preliminares lo realizamos en la planta. El ensayo de planta consiste básicamente en extraer una muestra de la colada y moldear en forma de barra de 12 mm de

diámetro y 127 mm de largo. Después de enfriarla se la somete a flexión, en un tornillo de banco, hasta su fractura. De este ensayo se obtiene la siguiente información cualitativa:

- Angulo de Fractura.
- Apariencia de grano.
- Resistencia a la fractura.
- Defectos interiores como porosidades o inclusiones extrañas.

La resistencia a la fractura se mide a pulso y es comparada con la resistencia a la flexión que ofrece una barra de acero de medio carbono. Si es inferior se considera como baja, y si es superior se identifica como alta resistencia.

#### CONTROL DE CALIDAD DE LA FUSION

Este control se realiza vía absorción atómica y para cada una de las coladas hechas se requería conocer la concentración de cromo en la aleación.

Este análisis se lo realizó en el laboratorio de Ciencias Químicas de la ESPOL. El cual consistió en obtener 0.5 gramos de cada muestra y ser sometidas a análisis de absorción atómica para determinar su composición real. El análisis de las muestras se disolvieron en ácido nítrico. Luego fueron disueltas en agua destilada hasta concentraciones de  $4 \times 10^{-6}$  gr/ml, las sales así elaboradas fueron introducidas en una flama de acetileno a manera de rocío. La flama, a la vez, era atravesada por una luz del tipo de onda característica del material que se iba a analizar.

Debido a la presencia de átomos del metal en la llama, una mayor o menor cantidad de luz de la lámpara era absorbida. Luego por comparación con una luz estándar determinaba el porcentaje del metal presente.

**TABLA VI. Resultados de los Ensayos de Planta**

Muestra	Angulo de fractura	Forma de fractura	Tamaño de grano	Resistencia a la Tracción
1	65	Recta	Fino	Baja
2	75	Recta	medio	media
3	85	Recta	grueso	alta.

**TABLA VII. Resultados de Composición Química obtenidas en el Proceso de Fusión**

Muestra	% Cr	% Cu
1	0.41	99.59
2	0.66	99.34
3	1	99 *

\* Se encontró 0.026 % de otros elementos como Fe, V, Si, Al, C, P y S.

**TABLA VIII. Resultados de Dureza después del Proceso de Fusión**

Muestra	Dureza HB
1	120
2	128
3	135

## 2.4 PROCESO DE MECANIZADO

En el proceso de mecanizado se necesitó eliminar alrededor del 40 % de material de la pieza fundida, para obtener la roldana terminada con las medidas que se muestran en la figura #10.

El cobre al cromo fundido es un material que puede ser mecanizado con relativa facilidad con relación a otras aleaciones de cobre. Esta aleación posee buena ductilidad y puede estar considerada como una aleación de fase simple. Antes de mecanizar la pieza fundida se tomó una muestra para observar el tipo de viruta durante el corte y la facilidad de mecanizado. Con estos antecedentes se seleccionó una herramienta de corte que se muestra en la figura No 11., para el mecanizado correcto de la roldana. El mecanizado se lo puede hacer antes o después del tratamiento térmico, pero es recomendable hacerlo antes. En la figura No 12 se aprecia la roldana mecanizada

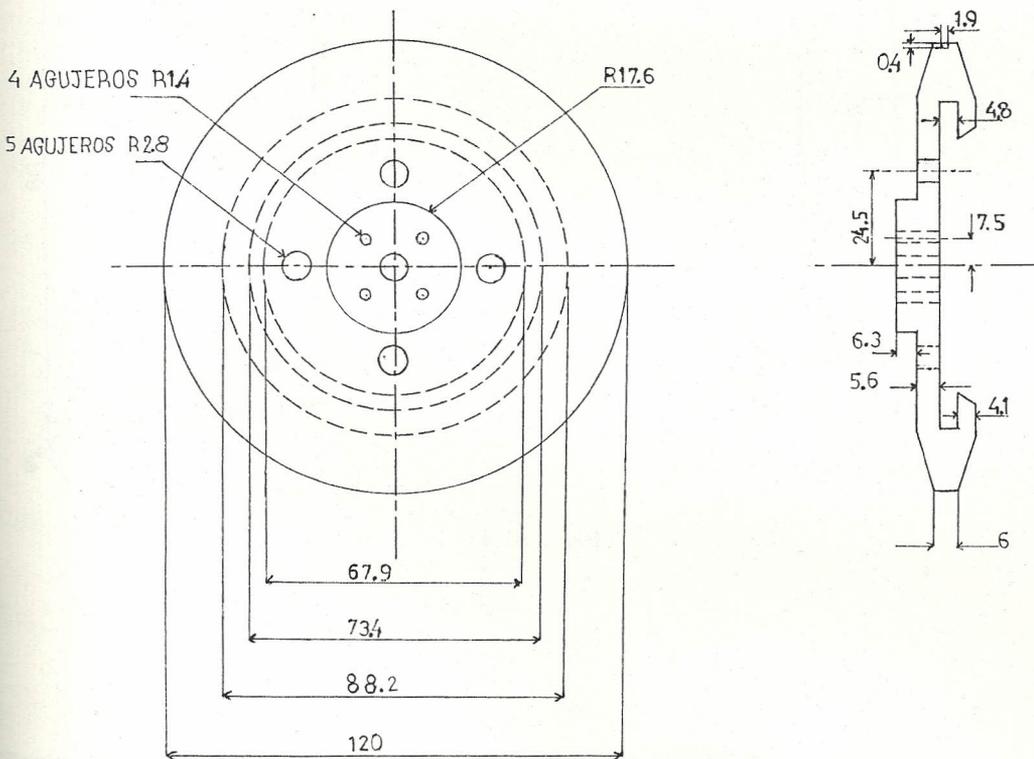
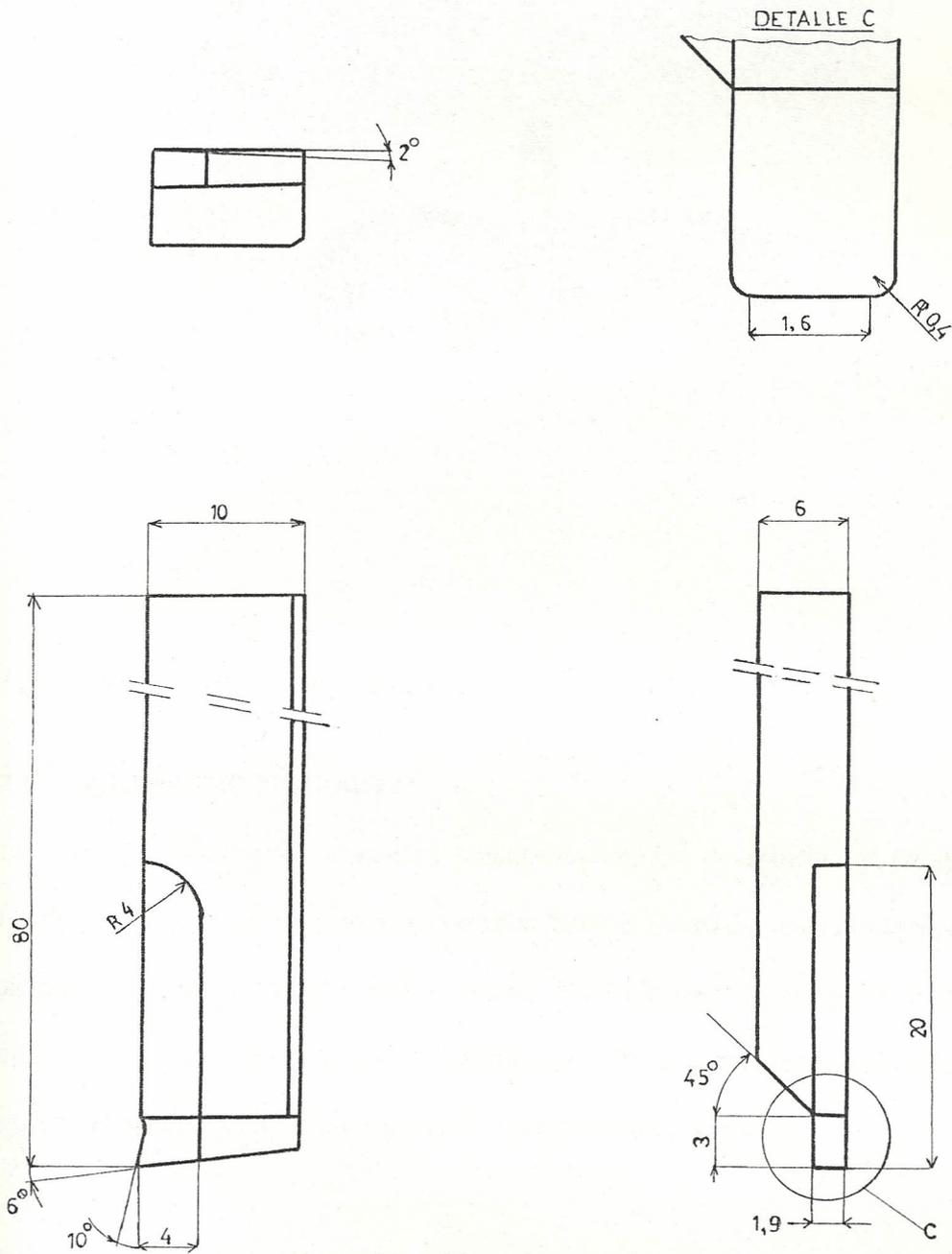
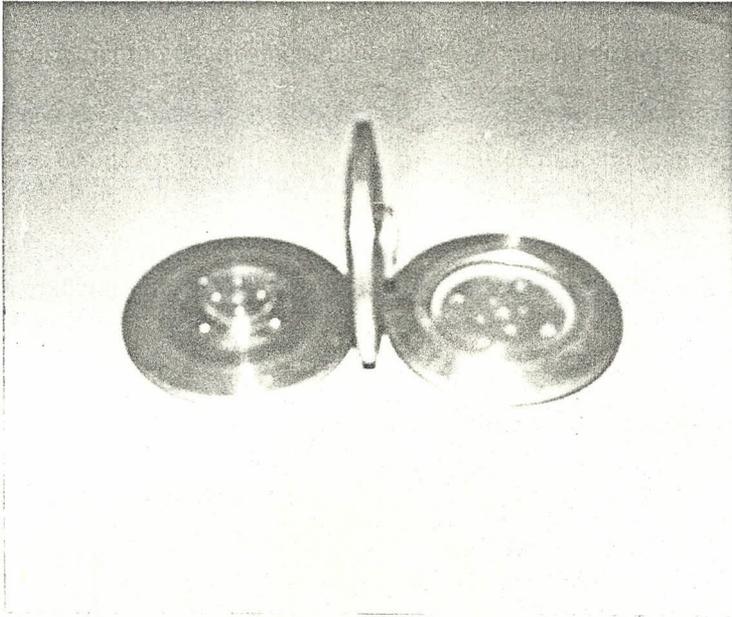


Figura No 10. Dimensiones de la roldana para mecanizar



WIDIA THM

Figura No 11. Herramienta de corte para mecanizar la roldana



*Figura No 12 . Roldana mecanizada*

## 2.5 TRATAMIENTO TERMICO

En este tipo de aleación se emplea tratamiento térmico de solución y precipitación, el tratamiento térmico de solución consistió en calentar el material a una temperatura tal que la aleación pase a estado de solución sólida, manteniendo esta temperatura durante un determinado tiempo, hasta que sea alcanzada por toda la pieza. El estado de disolución se sometió el material a un enfriamiento brusco que estabiliza la solución.

### DESCRIPCION DEL TRATAMIENTO TERMICO

#### Tratamiento térmico de Solución.

- 1.- Se calentó la roldana a  $1000^{\circ}\text{C}$ , aproximadamente. El tiempo de calentamiento usado fue de 1 hora, se uso este tiempo relativamente alto por la geometría de la pieza.
- 2.- Para conservar el cromo en solución sólida, la roldana se enfrió rápidamente en agua fría.

### Tratamiento de Precipitación

1.- La roldana tratada térmicamente en solución, es decir después de enfriarse, se vuelve a calentar 3 horas a una temperatura de 475 °C.

2.- Finalmente la roldana es enfriada en agua, con lo cual adquiere sus propiedades especiales.

En la figura No 13. se muestra un esquema de Tratamiento Térmico que se utilizó para mejorar las propiedades de la roldana.

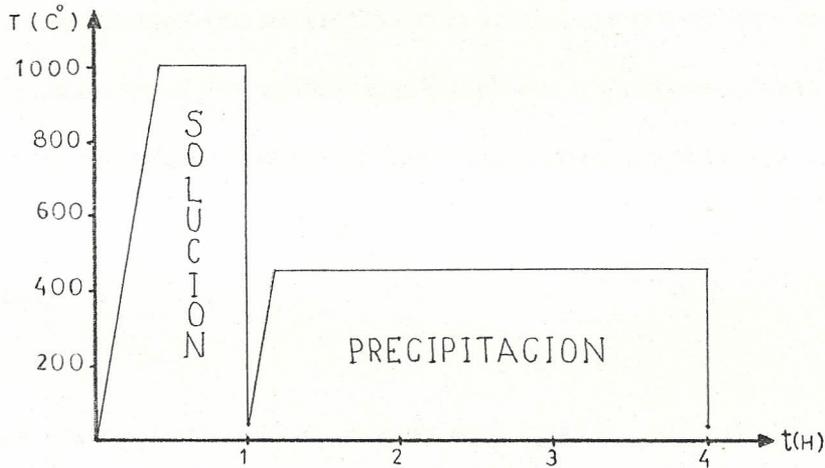


FIG No 13. Esquema del Tratamiento Térmico Utilizado

TABLA IX. Resultados de dureza de la roldana después del tratamiento térmico

Muestra	%Cr	Dureza HB Solubilizado 1 hora	Dureza HB Envejecido 3 horas
1	0.41	85	135
2	0.66	117	162
3	1	138	194
Norma F9 - 57 T	1	-	205

## 2.6 PRUEBAS DE LA ROLDANA EN LA MAQUINA DE SOLDAR.

Estos controles se efectúan en una línea de producción de envases de hojalata de la Empresa CROWN CORK DEL ECUADOR, el único objetivo impuesto en estas pruebas era garantizar la calidad de la roldana fabricada tomando en cuenta las horas de trabajo realizadas.

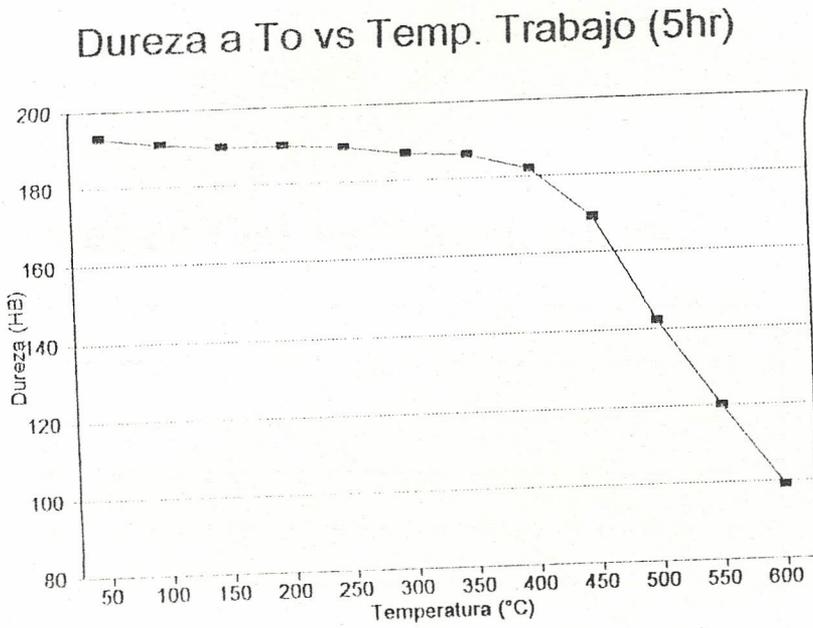
### CONTROL DE DUREZA

El control de dureza tiene que ver tanto la dureza en frío como la dureza en caliente, como en el proceso de fusión se determinó que se cumplía con la dureza requerida en frío. Por lo tanto las dos pruebas siguientes sirven para verificar si se cumple con la dureza en caliente, y evitar de esta manera obtener una roldana reblandecida después de poco tiempo de trabajo.

#### Pruebas realizadas

- a.- Dureza medida a temperatura ambiente después de 5 horas de trabajo continuo de la roldana en la máquina de soldar a diferentes temperaturas.
- b.- Dureza medida a diferentes temperaturas de trabajo, después de soldar con la roldana durante 1 hora.

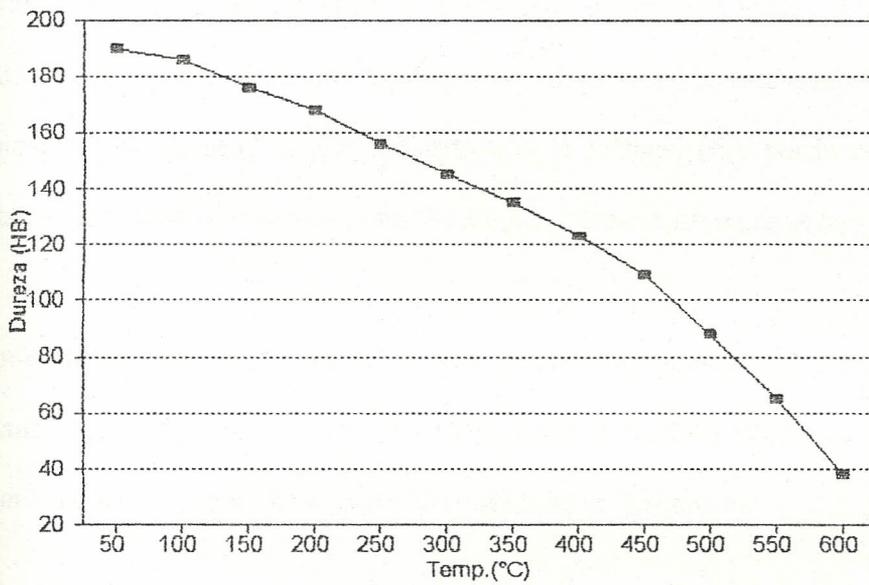
## Resultados de Dureza



Temp. °C	Dureza(HB)
50	193
100	191
150	190
200	190
250	189
300	187
350	186
400	182
450	169
500	142
550	120
600	99

Figura No 14 Diagrama que muestra los resultados del control de dureza de la prueba a.

### Dureza a Tind. vs Tcalent. (1hora)



Temp.(°C)	Dureza(HB)
50	190
100	186
150	176
200	168
250	156
300	145
350	135
400	123
450	109
500	88
550	65
600	38

Figura No 15 Diagrama que muestra los resultados del control de dureza de la prueba b.

## CONTROL DE DESGASTE.

*Esta es una prueba de gran importancia, porque determina el tiempo de vida útil de la roldana.*

El diámetro inicial de la roldana debe ser 120 mm, el diámetro mínimo recomendado 116 mm y el diámetro mínimo posible 114 mm. El diámetro mínimo recomendado nos da el diámetro mínimo en el cual la soldadura realizada por la roldana será de buena calidad. Con el diámetro mínimo posible se podrá seguir soldando con la roldana, pero puede existir fallas en la soldadura. Por lo tanto con un desgaste de 4mm la roldana termina su tiempo de vida útil.

La prueba impuesta para controlar el desgaste de la roldana consistió en medir el diámetro de la roldana después de cada semana de trabajo, es decir cada 40 horas que se soldaba con la roldana fabricada se procedió a determinar cuanto se ha desgastado.

El desgaste de la roldana depende de algunos factores extrínsecos de la roldana, que hay que controlarlos en esta prueba.

Con los resultados obtenidos de desgaste se procedió a determinar una curva empírica de desgaste, fig No 16, para poder hacer una comparación con la ecuación de desgaste de la roldana original, cuyos datos de desgaste fueron recopilados en la Empresa ( Anexo III y IV ), pues no existía ningún resultado de cuanto tiempo duraba la roldana.

Por lo tanto el objetivo de esta prueba fue determinar si se alcanzó la duración del cabezal de roldana suministrada por Soudronic o se superó.

## Resultados de Desgaste

TABLA X Resultados de Desgaste de la Roldana

Horas de Trabajo	Desgaste (mm)
40	0.08
80	0.10
120	0.12
160	0.13
200	0.14
240	0.16
280	0.18
320	0.21

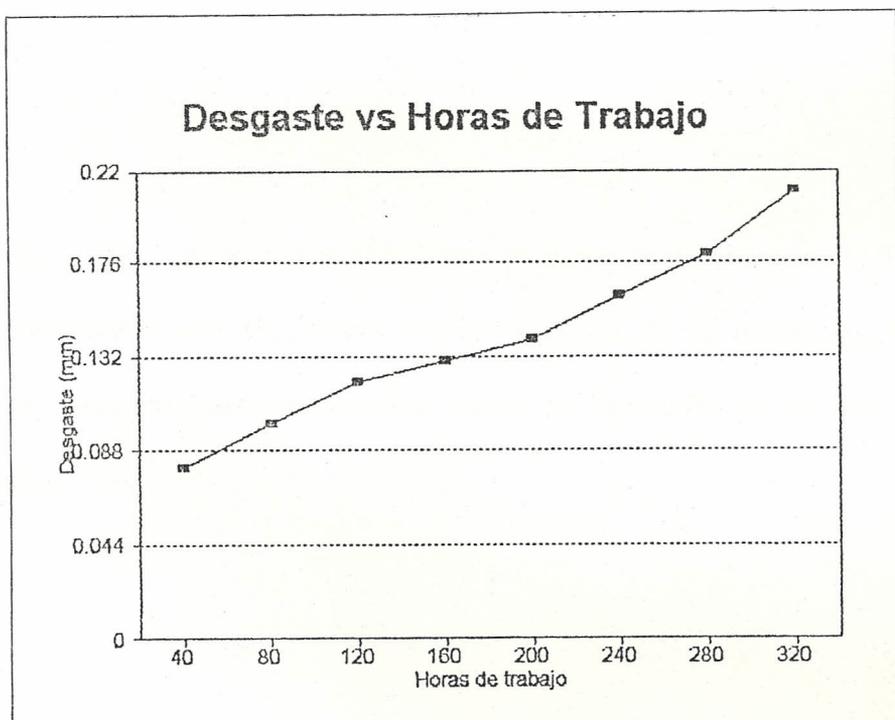


Figura No. 16 Curva Empírica de desgaste de la roldana fabricada

## CONTROL DE LOS PARAMETROS DE AJUSTE DE LA MAQUINA DE SOLDAR.

Tiene que ver principalmente con la toma de datos en el curso de la producción de envases. Para lo cual se tomó en cuenta las características de la chapa a soldar, velocidades de soldadura, de la cadena y del perfilador, producción, fuerza de los electrodos, corriente de soldadura, retardo de tiempo entre otros los cuales con un debido control facilitan el trabajo.

Todos estos parámetros expuestos anteriormente tienen una relación muy íntima entre ellos, para lo cual se debió manipular estas variables hasta determinar la mejor compatibilidad entre ellas. Los resultados que a continuación se dan, fueron realizados, durante el tiempo que trabajo la roldana en la máquina de soldar.

### Resultados

Los resultados del control de los parámetros de ajuste se muestran en la Tabla XI . Estos se encuentran simultáneamente reacondicionados, de tal manera que la primera fila de parámetros son los resultados más pobres y la última fila los mejores resultados encontrados.

TABLA XI Parámetros de Ajuste (hojalata estañada electrolíticamente E 2)

Vidua de chapa		velocidades de cadena			Corriente de soldadura				Retardo de tiempo			reducción corriente del aire		presión	tensión red (60 Hz)						
espesor	diamet.	long.	V s	V p	Prod. Fr.	grado del transf.	Reg. fina	I s	I c	esc. de cadenas	parada de cadenas	princ. de la sold.	final de la sold.	const.	desap. comp. hilo	kp/cm <sup>2</sup>	V				
mm	mm	mm	esc. min.	esc. alta	esc. min.	%	A	A	(13) esc.	(13) esc.	(15) esc.	(15) esc.	(15) esc.		kp/cm <sup>2</sup> const.						
0.24	52	150	13	2.5	4.3	2.2	42	70	3	92	42	48	17	3.8	3.2	6.2	0.0	8.5	2.0	1.0	460
0.24	52	150	8	1.7	3.4	1.5	48	55	4	87	35	42	1.6	3.5	3.7	5.4	0.0	8.5	2.0	1.0	460
0.24	52	150	13	2.4	4.3	2.2	48	74	3	92	44	48	1.6	2.9	3.6	6.2	0.0	8.5	2.0	1.0	460
0.24	52	150	12	2.6	4.4	2.2	38	66	3	88	41	46	1.7	3.9	3.6	6.2	0.0	8.5	2.0	1.0	460
0.24	52	150	11	2.4	4.3	2.2	40	60	3	87	40	46	1.7	3.8	3.1	6.2	0.0	8.5	2.0	1.0	460
0.24	52	150	11	2.4	4.3	2.2	52	65	3	92	42	48	1.6	2.7	2.4	5.4	0.0	8.5	2.0	1.0	460
0.24	52	150	11	2.4	4.2	2.2	42	62	3	87	39	45	1.7	3.7	3.1	6.3	0.0	8.5	2.0	1.0	460
0.24	52	150	10	1.7	3.5	1.6	48	65	4	91	37	45	1.7	3.5	3.6	6.4	0.0	8.5	2.0	1.0	460
0.24	52	150	10	1.7	4.1	1.5	48	64	4	89	36	45	1.7	3.7	3.1	6.3	0.0	8.5	2.0	1.0	460
0.24	52	150	10	1.8	3.5	1.6	48	65	4	90	37	44	1.7	3.4	3.7	6.4	0.0	8.5	2.0	1.0	460
0.24	52	150	10	1.8	3.5	1.6	48	65	4	90	37	44	1.7	3.4	3.7	6.4	0.0	8.5	2.0	1.0	460

## CONTROL DEL CORDON DE SOLDADURA

Este es un control complementario necesario que esta ligado estrechamente con el control anterior y nos brinda el resultado del proceso de fabricación, en definitiva si valió o no la roldana fabricada.

Del análisis del cordón de soldadura dependerá directamente de la calidad de la roldana. Por esta razón el cordón de soldadura requirió una atención especial durante la producción.

En esta sección de pruebas se realizó algunos tipos de ensayos especialmente los ensayos mencionados bajo b) fueron efectuados por lo menos cada 60 minutos. Al mismo tiempo se controló la corriente de referencia del amperímetro.

El control que se realizó fue:

- a) Visual, aspecto externo.
- b) Mecánico, directamente en la máquina de soldar
- c) En serie en la línea de fabricación.
- d) En el laboratorio.
- a) Visual aspecto externo .

Este ensayo permitió detectar los pocos casos 0.3%, defectos a partir de cierta importancia, tales como.

- Puntos de soldadura demasiado débiles.

- Puntos de soldadura inexistentes.
- Puntos de Soldadura irregulares.
- Puntos de soldadura quemados, con exceso de material de soldadura.

**b) Mecánico, directamente en la máquina de soldar.**

Este control permite establecer un buen dictamen sobre el cordón de soldadura sin necesidad de utilizar importantes medios técnicos auxiliares.

**- Ensayo de rotura**

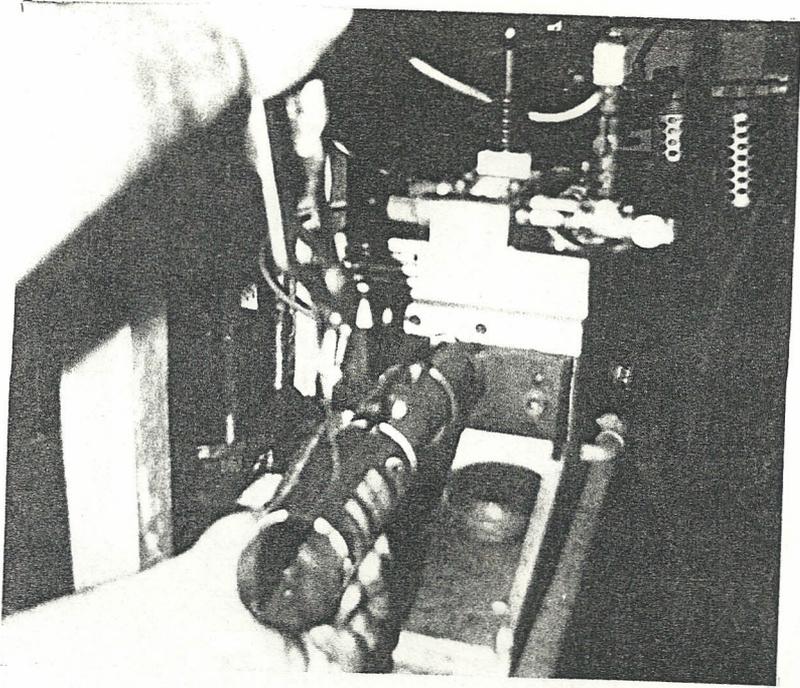
Manera de proceder

- 1.- Cortar la virola, a ambos lados, junto al cordón de soldadura.
- 2.- Doblar la sección cortada.
- 3.- Llevar la virola sobre un punzón.
- 4.- Romper el cordón de soldadura con unos alicates.

En la figura No 17. se muestra este ensayo.

**Resultados**

- El 99.6 % de los casos el cordón de soldadura se separó de manera lisa del resto del material.
- El 0.3 % de los casos el cordón de soldadura se separó en forma de escamas del resto del material.
- El 0.1 % de los casos el cordón de soldadura se rompió.



*Figura No 17 Ensayo de Rotura*

- Ensayo de doblado rebordeado.

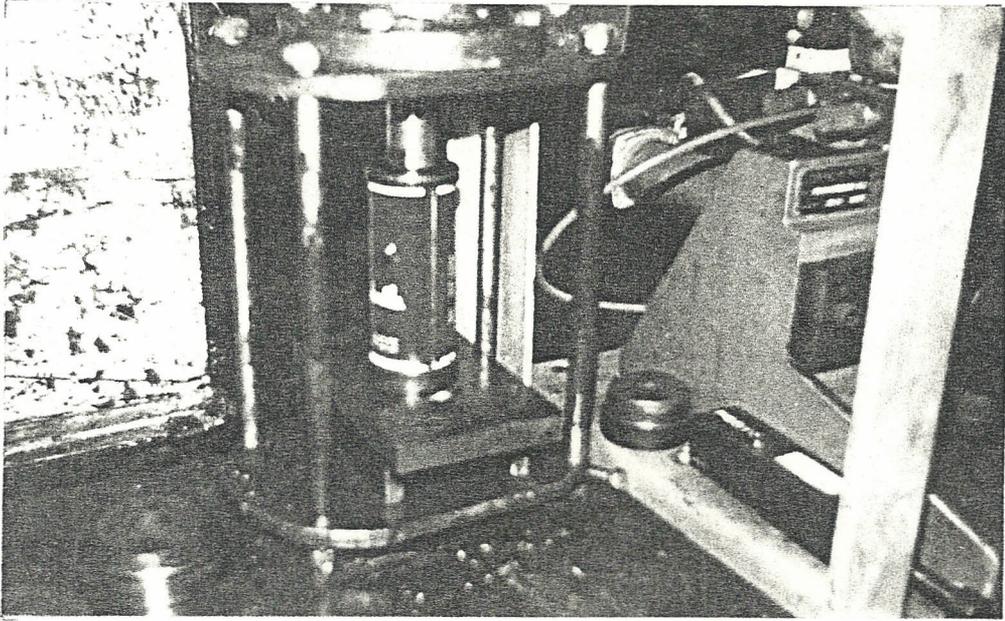
Este ensayo permite enjuiciar principalmente el principio y el final de la soldadura así como la capacidad de recubrimiento del cordón de soldadura (figura No.18).

Manera de proceder.

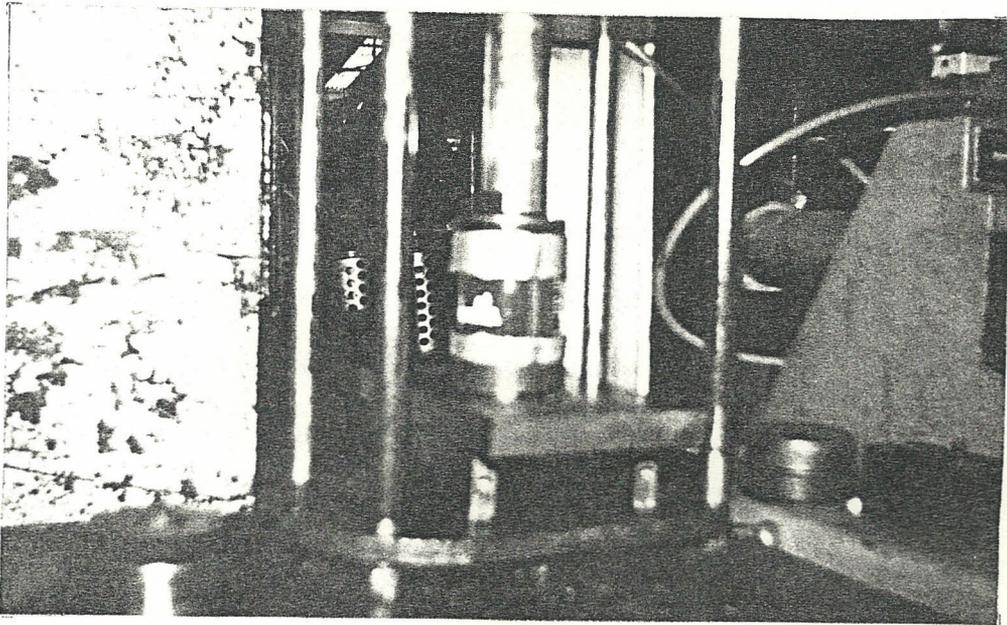
- 1.- Colocar la virola debajo de la herramienta de rebordear.
- 2.- Rebordear lentamente el principio o el final, hasta que el material se encuentre invertido en  $180^\circ$ .

### Resultados

En el 99.6% de los casos el principio y el final del cordón de soldadura se mantenía, como se muestra en la figura No 19. El 0.4 % de los casos restantes del cordón de soldadura no se mantenía.



*Figura No 18 Ensayo de Doblado rebordeado*



*Figura. No 19 Resultados del ensayo de doblado rebordeado*

## - Ensayo de Bola

Este ensayo especialmente apto para la **evaluación** con respecto al cordón de soldadura.

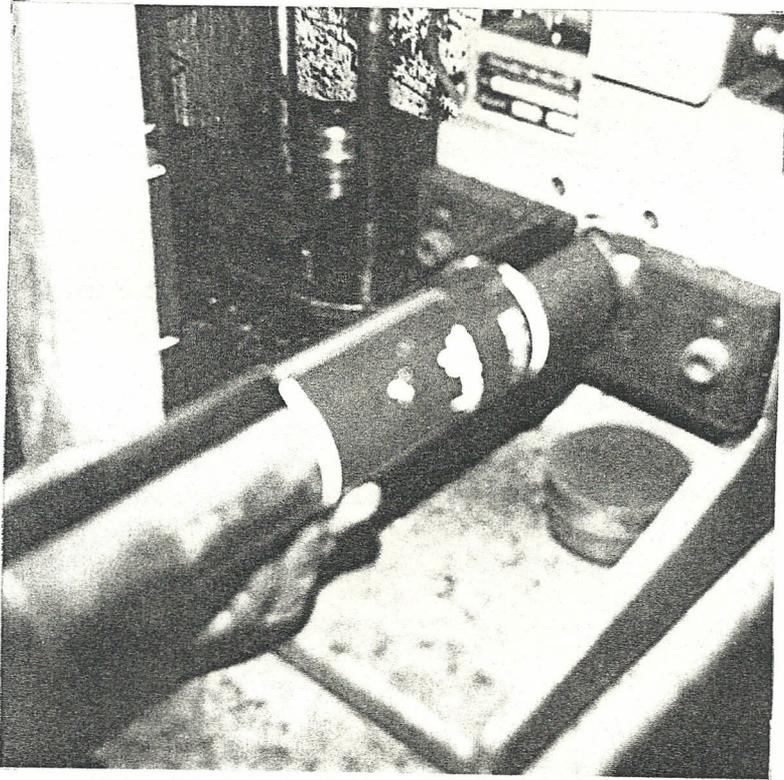
### Manera de proceder

- 1.- Colocar la virola con el cordón de soldadura hacia abajo.
- 2.- Colocar la bola hacia arriba hasta que se separe del material base.
- 3.- Colocar la virola de manera que el cordón de soldadura se encuentre en la parte superior y centrado con respecto a la bola.
- 4.- Introducir la bola delante, y detrás.

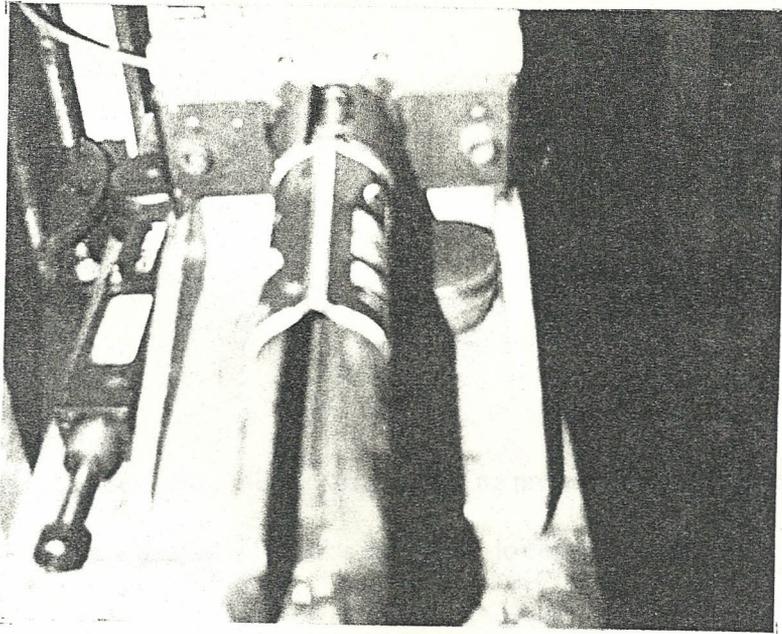
En la figura No 20. se muestra este ensayo.

### Resultados

- En el 99.8 % de los casos, el cordón de soldadura se mantenía desde el principio al final, con la deformación correspondiente de la bola, como se muestra en la figura No 21.
- El 0.2 % restante, una parte del cordón se desprendía.



*Figura No 20 Ensayo de Bola*



*Figura No 21 Resultados del ensayo de bola*

### c) En Serie en la Línea de Fabricación

Los ensayos en serie son requeridos para una producción asegurada.

#### - Ensayo de presión en baño de agua.

Se realizó de manera periódica, y sirve principalmente para detectar porosidades de la soldadura, por cuanto los envases de aerosoles están sometidos a una considerable presión.

#### Manera de proceder

- 1.- Colocar la virola soldada entre las dos herramientas de presión.
- 2.- Hacer presión sobre la virola, con aire comprimido.

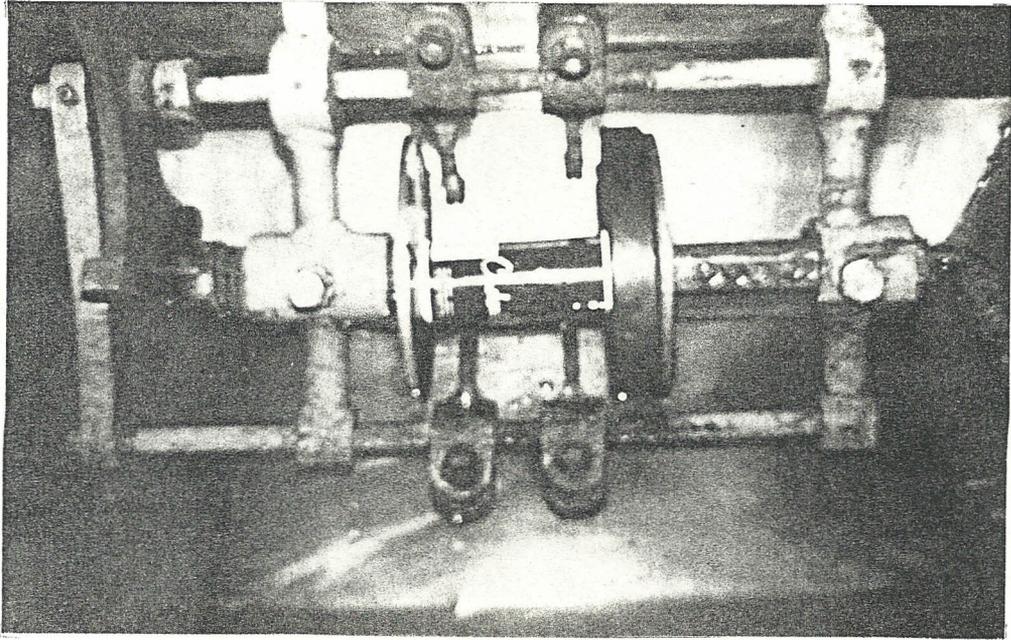
La presión requerida es 150 psi.

- 3.- Introducir en el baño de agua.

En la figura No 22 se muestra este ensayo.

#### Resultados

- El 99.8% de los envases que se efectuó, esta prueba no presentaron porosidades.
- El 0.2 % restante causo pequeñas burbujas en el agua, lo cual indicaba que había algún tipo de porosidades.



*Figura . No 22 Ensayo de presión en baño de agua*

#### **b) Ensayo de Laboratorio.**

Este ensayo permite una predicción exacta sobre el estado de la soldadura.

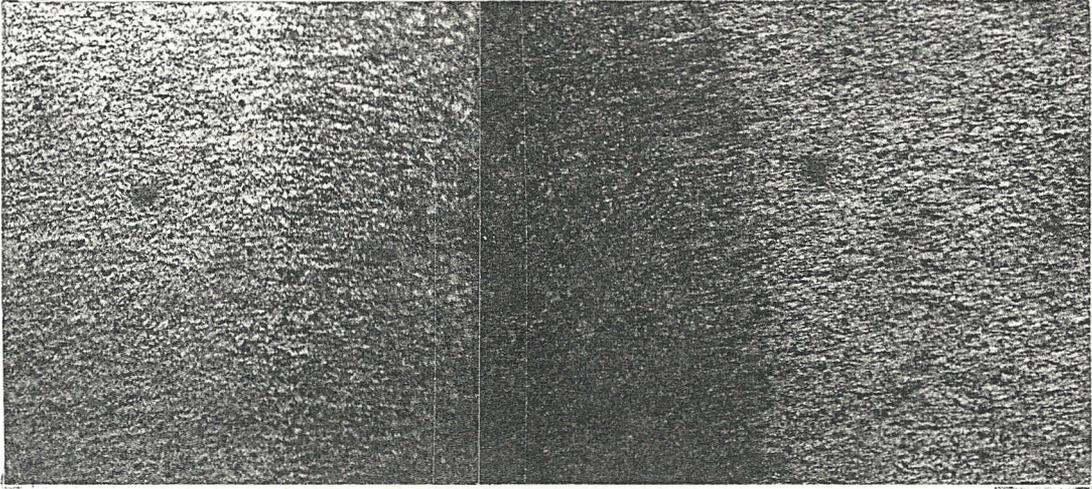
- Enjuiciamiento de la estructura de la soldadura.

Manera de proceder

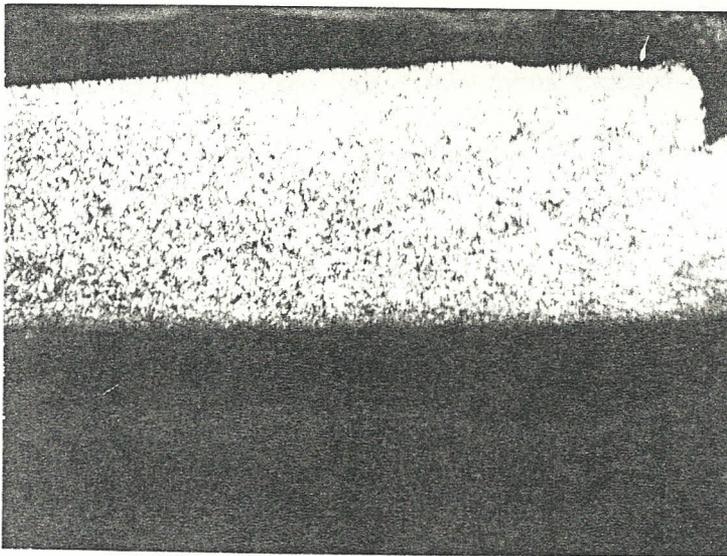
Básicamente se trata de un análisis del cordón vía microscopio.

#### **Resultados**

La figura No 23 muestra dos micrografías. La vista frontal y superior de una costura de soldadura realizada con la roldana fabricada . Por medio de una buena calidad de la roldana, regulación de la corriente de soldadura unida a una presión de soldadura perfectamente calibrada, se forma una costura perfecta, aplastada cuyo espesor en sección es solamente 1.4 veces el espesor de la chapa.



*Figura a.*



*Figura b*

*Figura No 23 Cordón de soldadura realizado con la roldana fabricada a) Vista superior ,  
b) Vista frontal .( Ataque Nital 3% . 113 x)*

## CAPITULO III

### DISCUSION DE RESULTADOS

#### 3.1 PROCESO DE FABRICACION

Analizando los resultados se puede apreciar que se ha conseguido determinar un método de fabricación adecuado, las propiedades obtenidas en la roldana cumple con la norma F9 - 57 T.

La etapa de fusión tiene su complejidad metalúrgica por cuanto no es fácil controlar la composición química en relación al elemento aleante cromo.

Para producir piezas de alta calidad se debe tener presente además del control del horno, agentes externos como las condiciones atmosféricas y normas de fundición.

El horno no es ideal para este trabajo, por cuanto forma excesiva escoria debido a la combustión del gas que contiene mucho vapor de agua que reacciona con el metal, la minimización de escoria se la consigue observando tiempos cortos de mantenimiento a una temperatura determinada.

La atmósfera se independizó del proceso utilizando una pequeña cubierta de carbón, lo cual redujo la oxidación del cromo, al igual que el desoxidante utilizado (boruro de calcio).

La fluidez de la aleación repercute de sobremanera en los resultados obtenidos en las primeras fusiones. La complejidad del colado y el tamaño de la sección de vaciado en el molde normalmente nos da la temperatura de vertido, temperaturas bajas causan imperfecciones y

porosidades y temperaturas altas hacen el control químico y de los gases más difíciles de obtener.

La temperatura de 1220° C que se encontró después de varias fusiones, que era la ideal, guarda un compromiso entre las temperaturas altas y bajas de vertido.

El molde metálico jugó un papel importante en la calidad de la pieza obtenida, al mantenerse caliente permitió fluidez en el interior del molde, facilitando una buena solidificación de la pieza.

Siguiendo normas que sugieren los manuales sobre las propiedades típicas de colado se llegó a obtener una dureza muy alta, pero básicamente la dureza obtenida de 135 HB se debe a la presencia de otros elementos que se encontraban en el cromo metálico como hierro, vanadio, silicio, aluminio, carbono, fósforo y azufre en porcentaje del 0.026 %.

Con la ayuda de fusiones repetidas de la aleación, se logró determinar las pérdidas de cromo en porcentaje, vía absorción atómica, lo cual facilitó el obtener la aleación cobre 99 % -cromo 1%, que sería la composición ideal de la roldana.

Los defectos encontrados en el proceso de fusión se deben a las siguientes causas:

- Porosidades en la fundición debido a que no hay en totalidad propiedades desoxidantes ideales, mala temperatura de colado y molde metálico frío.
- Baja relativa de conductividad eléctrica y propiedades mecánicas debido a impurezas.
- Excesiva escoria debido al tipo de horno utilizado y turbulencia causada por la agitación durante la fundición.

Estos defectos fueron superados paulatinamente con las sucesivas fusiones y al final se obtuvo una roldana libre de efectos superficiales.

El grado de pulido en el mecanizado de la roldana debe ser bueno, debe haber uniformidad y alisado superficial, conseguirse un superacabado principalmente en la zona de contacto de la roldana, para evitar huellas de la roldana en el cordón de soldadura.

El tratamiento de solución deja la pieza con muy poca dureza, como se vió en la Tabla IX .El envejecimiento confiere la dureza necesaria.

Como en la roldana es más importante la dureza que la conductividad eléctrica, no se requieren períodos más largos de precipitación que el realizado, tomándose en cuenta que primero se alcanza la dureza máxima y luego la conductividad eléctrica máxima.

Para la aleación 99.59 % Cu 41 % Cr, la dureza aumentó en el 11 % con el tratamiento térmico, lo cual no es significativo. Pero para la composición a la cual se quería llegar 99 % de cobre 1% de cromo, la dureza aumentó en un 30 % , lo cual es alentador para esta aplicación en la que se requiere alta dureza para evitar deformaciones.

### 3.2 CALIFICACION DE LA ROLDANA

Para dar la aprobación de la roldana como electrodo para máquinas automáticas de soldadura por resistencia, se va analizar a continuación los controles efectuados en la máquina de soldar, cuyos resultados se presentó en el capítulo anterior.

## CONTROL DE DUREZA

La dureza en frío requerida es de 180 HB, la roldana fabricada alcanzó una dureza después del tratamiento térmico de 194 HB, un poco superior a lo necesitado, lo cual va a ayudar a permitir menos deformaciones en el trabajo de roldana.

La dureza en caliente representa un buen evaluador de la calidad de la roldana porque se puede encontrar la temperatura a la cual la dureza caerá bruscamente. Analizando la gráfica dureza medida a temperatura ambiente versus temperatura de trabajo, en la figura No 14, se puede deducir que la dureza comienza a caer a partir de los 425 °C aproximadamente, lo cual quiere decir que a partir de esta temperatura la roldana se reblandecerá fácilmente y no durará mucho tiempo.

Si se compara con la temperatura de ablandamiento requerida se puede dar cuenta que se está en el rango previsto. Lo cual garantiza el trabajo a temperaturas relativamente altas. Y si se hace una comparación con la temperatura de trabajo, se aprecia que ya a 50 °C la dureza bajó cuatro puntos, lo que demuestra que si la roldana no está bien refrigerada, la dureza bajará en la etapa de soldeo, produciendo malos cordones de soldadura y variando la adaptación de la roldana sobre la hojalata.

## CONTROL DE DESGASTE

La frecuencia con que se cambian las roldanas dependerá básicamente de la producción; no obstante, la elección de parámetros de soldadura, temperatura y cantidad de agua de enfriamiento juegan un papel preponderante para disminuir el desgaste.

Para este control se debe tener cuidado que las roldanas no cambien rápidamente el diámetro y la forma.

El estado de las ranuras de los cabezales de las roldanas de soldar, debe ser comprobado periódicamente. El perfil de las roldanas debe estar limpio y la superficie no debe presentar ninguna rugosidad.

El hilo perfilado debe sobrepasar de la ranura aproximadamente en la mitad de su altura de manera que la chapa no entre en ningún caso en contacto con la roldana de soldar, de esta manera el electrodo intermediario disminuye el desgaste, porque la capa de estaño hace que se produzca calor en la cara de la roldana y como el electrodo intermediario impide que se toquen chapa y roldana, por lo tanto no hay calor excesivo. Cuando hay contacto entre chapa y roldana se produce deterioro de la roldana y se descoloran y queman las superficies de la soldadura.

Es imprescindible para la duración y el buen funcionamiento de los conjuntos de roldanas de soldadura que corra siempre el volumen prescrito de agua a una temperatura de entrada dentro de los valores exigidos.

Si la temperatura del electrodo intermediario aumenta en más de  $\Delta T = 30^\circ \text{C}$  después del período correspondiente de utilización de los cabezales de roldana, será preciso reacondicionar la ranura del cabezal.

Si el agua de refrigeración está demasiado escasa la corriente de soldadura no se podrá ajustar y se producirá rápido deterioro de la roldana.

La prueba de desgaste se realizó con 4 cabezales de roldana, uno de ellos se calentó extremadamente a pesar de estar correctamente la refrigeración. El calentamiento se produjo porque el cabezal presentaba una resistencia de paso deficiente, debido a una baja relativa de la conductividad eléctrica. Esta roldana fue desechada en los controles de calidad efectuados.

Los resultados encontrados con la roldana fabricada después de 320 horas de operación revelan que el desgaste se mantuvo al mínimo ( desgaste total 0.21 mm).

En las primeras 40 horas de operación se produce el mayor desgaste (0.08 mm) debido a que se ajusta los parámetros, luego, el desgaste se mantiene aproximadamente constante y finalmente con una tendencia a aumentar, al aumentar la producción, ver figura No 16.

Si se comparan las curvas de desgaste , de la roldana original (CDRO) y la roldana fabricada (CDRF) , hasta 600 horas de operación (Anexo V ).

Se observa que CDRO tiende a crecer más rápidamente que CDRF en las 450 horas de operación. En este tiempo las curvas se interceptan y CDRF comienza a crecer más que CDRO, para finalmente terminar la roldana fabricada con un desgaste de 0.03 mm más que la roldana original a 600 horas de operación.

#### CONTROL DE LOS PARAMETROS DE AJUSTE

El control de la soldadura gobierna fundamentalmente la intensidad de soldadura, el tiempo de paso de la corriente y la dosificación de la intensidad. Sin embargo no se puede descuidar otros

parámetros como esfuerzo en los electrodos, calidad de chapa, dimensión de las virolas y otros que de alguna manera son dependientes para mantener la roldana.

Los parámetros conseguidos Tabla XI fueron reacomodados simultáneamente en ensayos hasta que al final se seleccionó el mejor conjunto de variantes, las cuales hacen funcionar la roldana de la manera más óptima.

A continuación se va establecer las características que se tomó para el control de los parámetros.

La velocidad de soldadura esta ajustada normalmente entre 8 y 15 metros por minuto. Estos valores límite son de carácter orientativo, según la calidad de la chapa a trabajar, según el género de exigencias de la soldadura y según el material que esta hecha la roldana. El límite superior no fue alcanzado.

Al variar la velocidad de soldadura, fue también adaptada la velocidad del grupo de perfilado del hilo.

La velocidad elevada de las cadenas de transporte influye de manera determinante sobre la capacidad de producción de la máquina.

La presión necesaria del electrodo depende tanto del espesor de la chapa como también de la velocidad de soldadura. Normalmente es ajustada de 60 a 80 Kp. Generalmente al aumentar la presión del electrodo se deberá aumentar la velocidad de soldadura.

El valor de la presión puede variar a través del ciclo, según interese a la fase del mismo, ya que no solo es de forja, sino también influye en el valor de la resistencia eléctrica de contacto y en la formación de la estructura interna.

La tasa de calor generado debe ser tal que se suelde con presión adecuada más allá de lo cual se producirá excesivo calentamiento de la roldana y rápido deterioro.

No se puede precisar con exactitud los valores de presión encontrados, ya que está ligado de sobremanera al resto de las variantes. Se escogió la presión de tal manera que no hubo incrustaciones superficiales de la roldana, ni intensas salpicaduras de material.

Se debe tener en cuenta que el material es revestido y se incrementa la resistencia de contacto, por lo tanto la soldadura requiere alta corriente y alta presión.

Con una presión excesiva había huellas muy marcadas con las consiguientes deformaciones en las piezas y la roldana. Al aumentar rápidamente la zona de contacto, disminuye rápidamente la resistencia y con ello el efecto joule, dando mala soldadura.

Al escoger una presión baja se produjo mal forjado y quemaduras superficiales con los consiguientes escapes de material y deterioro de la roldana.

La corriente de soldadura depende del espesor de la chapa y de su calidad, una vez que la presión de soldadura y la velocidad de la misma hayan sido determinadas.

Con baja corriente, la costura se abre, pero progresivamente se aumenta hasta que la costura sea perfecta.

Como la costura no era buena con una máxima fuerza del electrodo se procedió a reducir la velocidad de soldadura.

Se debe tener muy en cuenta que la intensidad y el tiempo están inmediatamente ligados al desarrollo de calor.

El tiempo dependerá de la velocidad de soldadura, el espesor y la calidad del material.

Para que no se quemen los extremos de la costura, los dos primeros y los dos últimos puntos de soldadura se deben soldar con corriente reducida.

La duración de tiempo de la corriente reducida y el número de los puntos de soldadura con corriente reducida están regulados para el principio de la costura mediante el potenciómetro t1 y para el final de la costura mediante el potenciómetro t2.

Este ajuste de los potenciómetros depende de la velocidad de soldadura y el diámetro de la virola.

Una condición esencial básica para la soldadura es la exactitud dimensional de perfilado del hilo (electrodo intermediario), esto se controla con la velocidad de perfilado.

## CONTROL DEL CORDON DE SOLDADURA

Con un buen control de los parámetros de ajuste, el resultado de ello es básicamente un cordón de soldadura libre de defectos ver fig. No 23. Los ensayos efectuados en el proceso mismo de fabricación de envases de hojalata revelan que el cordón de soldadura realizado con la roldana fabricada es de buena calidad, inclusive de similares características al realizado con la roldana original.

La mala calidad de los cordones de soldadura producidos son dependientes de los parámetros de ajuste, solamente se producen al cabo de la puesta en marcha de la máquina, luego desaparecen por completo.

### Evaluación de cordones de mala calidad.

- Si el cordón de soldadura se separa en forma de escamas, la corriente de soldadura es insuficiente.
- Si el cordón se rompe la corriente de soldadura está demasiado reducida.
- Si el principio o el final del cordón de soldadura no se mantiene es preciso controlar la corriente de soldadura y el solapado el cual debe mantenerse en el rango de 0.4 a 0.6 mm.
- Con un solapado excesivo se produce mal aplastamiento.
- Con el límite inferior de corriente el cordón no resiste métodos de control de ensayos.
- Con el límite de corriente superior, los puntos del cordón son irregulares.
- Con presión de soldadura demasiado baja produce las mismas consecuencias que corriente de soldadura demasiado alta.
- Con presión de soldadura demasiado elevada se produce solapado excesivo.

- Con una velocidad de soldadura demasiado elevada se producen fugas microscópicas.
- Con una velocidad de soldadura demasiado baja se producen distancias reducidas entre puntos y cordones quemados.

En base a todos estos análisis realizados tanto del proceso de fabricación de la roldana como los controles efectuados en planta por horas de funcionamiento como electrodo de una máquina de soldar, se puede establecer que la roldana fabricada en este proyecto cumple con todas las exigencias indispensables para soldar hojalata, y la norma DIN 44759 de materiales para electrodos.

En relación al desgaste, si se toma en cuenta que para 600 horas de operación, las curvas de desgaste de la roldana fabricada y original guardan un margen muy estrecho de diferencia, (Anexo V) entonces se estimará que se puede alcanzar o superar la duración de la roldana original, siempre y cuando se controle el proceso y se de un mantenimiento adecuado a la roldana.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

Se concluye este proyecto estableciendo que si se puede fabricar electrodos para máquinas de soldar por resistencia eléctrica con el método utilizado.

- La roldana fabricada con la aleación 99% Cu - 1% Cr a partir del reciclaje de electrodos y cromo metálico cumple con las propiedades requeridas por la norma DIN 44759 de materiales para electrodos.
- Las propiedades de la roldana fabricada, pueden variar no solamente con las condiciones de tratamiento térmico, sino también con los desoxidantes o elementos adicionales que pueden hallarse en la aleación.
- La roldana fabricada es capaz de lograr una alta concentración de corriente y presión en la superficie de contacto entre las chapas y es capaz de conducir eficazmente elevadas corrientes y resistir elevadas presiones de soldadura sin deformación.
- La conductividad eléctrica alcanza un valor fijo en cada temperatura del tratamiento térmico
- La roldana fabricada puede emplearse hasta con temperaturas de 350° C sin perjuicio de sus propiedades. No indica ningún cambio en la dureza después de 8 semanas a 300° C, pero si una caída evidente después de 1 día a 450 ° C.

- Las roldanas deben estar bien refrigeradas de forma que el calor pueda ser eliminado rápidamente de la superficie. Si las roldanas están mal refrigeradas, la acumulación gradual de calor en la superficie produce aumento del desgaste y mala calidad del cordón de soldadura.

### RECOMENDACIONES

- Que la roldana se fabrique usando el proceso de transformado en caliente y tratado para obtener mejores propiedades.
- En lo posible se debe utilizar hornos eléctricos de tipo compacto para reducir la oxidación del cromo y evitar la absorción de gas.
- Tomar en cuenta la temperatura y el tiempo de fusión del material y la temperatura del molde metálico para evitar una roldana de mala calidad.
- Para conseguir una buena soldadura por roldanas es necesario que haya un solape mínimo.
- Debe ejercerse un estrecho control en la entrada de energía, ya que solo existe un campo plástico muy corto en el revestimiento, es decir, el campo de temperaturas entre la fusión inicial y la fusión final es pequeño, y las pequeñas variaciones de energía pueden producir variaciones bastante grandes en el tamaño de la soldadura.

- Es preciso cuidar que no se mezclen las calidades de chapa de cargas diversas con distintas durezas de temple durante la producción. Fuertes variaciones de los valores de dureza pueden influenciar negativamente en la calidad de la soldadura.
- Para obtener soldadura con garantía se debe establecer los parámetros de ajuste dentro de una tolerancia preestablecida, lo que permite asegurar una gran fiabilidad y la no destrucción de las virolas, con el correspondiente ahorro tanto en material como en mano de obra de trabajo y evitar desgaste de la roldana.

## A N E X O S

1. Datos generales de las propiedades de 5.9 Kg/cm<sup>2</sup>

2. Datos eléctricos (a 20°C)

3. Datos mecánicos (a 20°C)

4. Datos térmicos

5. Datos de resistencia

6. Datos de durabilidad

7. Datos de resistencia

8. Datos de resistencia

9. Datos de resistencia

10. Datos de resistencia

N/mm <sup>2</sup>	10	15	20	25	30	35	40	45	50
N/mm <sup>2</sup>	12	18	24	30	36	42	48	54	60
N/mm <sup>2</sup>	14	21	28	35	42	49	56	63	70
N/mm <sup>2</sup>	16	24	32	40	48	56	64	72	80
N/mm <sup>2</sup>	18	27	36	45	54	63	72	81	90
N/mm <sup>2</sup>	20	30	40	50	60	70	80	90	100
N/mm <sup>2</sup>	22	33	44	55	66	77	88	99	110
N/mm <sup>2</sup>	24	36	48	60	72	84	96	108	120
N/mm <sup>2</sup>	26	39	52	64	76	88	100	112	124
N/mm <sup>2</sup>	28	42	56	70	84	98	112	126	140

## ANEXO I

## Especificaciones del hilo de cobre

Propiedades del Material, cobre semi-fabricado:

Cobre electrolítico (utilizado como conductor en la electrotécnica)

Cobre oxigenado (tenaz) que presenta en estado pastoso una conductibilidad no inferior a 58,0 m /  $\Omega$  mm<sup>2</sup>

Cobre Cu	$\geq 99,9 \%$
Oxígeno O <sub>2</sub>	0,005 - 0,040 %

Tolerancias

Dimensión nominal preferencia para hilo de cobre redondo.

Diámetro	1,50 mm	1,38mm
Sección	1,76 mm <sup>2</sup>	1,49 mm <sup>2</sup>
Tolerancia admisible (de 0)	- 0,04 mm	- 0,04 mm
Peso referido a la longitud		
Kg / 1000 m	15,6	14,6
(peso calculado a base de una densidad de 8,9 Kg / dm <sup>3</sup> )		

Propiedades eléctricas (a 20°C )

Resistencia específica	$\Omega$ mm <sup>2</sup> / m	max.	0,01739
Conductibilidad	m / $\Omega$ mm <sup>2</sup>	min.	57,5
Coefficiente de dilatación bajo influencia térmica.			$1,7 \cdot 10^{-5}$ por grado K

Propiedades de resistencia mecánica

Resistencia a la tracción	N / mm <sup>2</sup>	240 - 270	230
límite de estiraje			
(límite de 0,2 %)	N / mm <sup>2</sup>	125 - 150	145 - 150
Coefficiente del límite de estiraje	%	52 - 55	63 - 65
Alargamiento de rotura $\epsilon$			
(mayor o igual)	%	26 - 30	26 - 30

(de febrero 1981 TML/Ns)

## ANEXO II

### Desgaste de la Roldana Fabricada

CONTROL DE DESGASTE DE LA ROLDANA			ESPECIFICACION DE ROLDANA					
FECHA DE INSTALACION	DIAMETRO EXTERIOR (mm)	NUMERO DE VIROLAS SOLDADAS	NUMERO DE HORAS DE OPERACION	REDUCCION DE DIAMETRO (mm)	ALTURA DE LAS VIROLAS (mm)	TEMPERATURA DE AGUA ENFRIAMIENTO ENT. (° C)	TEMPERATURA DE AGUA ENFRIAMIENTO SAL. (° C)	CANTIDAD AGUA ENF. (LT. / MIN.)
Febrero 6 de 1995	120	114800	40	119.92	150	9	15	3.6
	119.92	229600	80	119.90	150	9	14	3.6
	119.90	344400	120	119.88	150	9	15	3.6
	119.88	459200	160	119.87	150	8	13	3.6
	119.87	574000	200	119.86	150	8	14	3.6
	119.86	688800	240	119.84	150	9	16	3.5
	119.84	803600	280	119.82	150	10	18	3.5
	119.82	918400	320	119.79	150	10	18	3.5

## ANEXO III

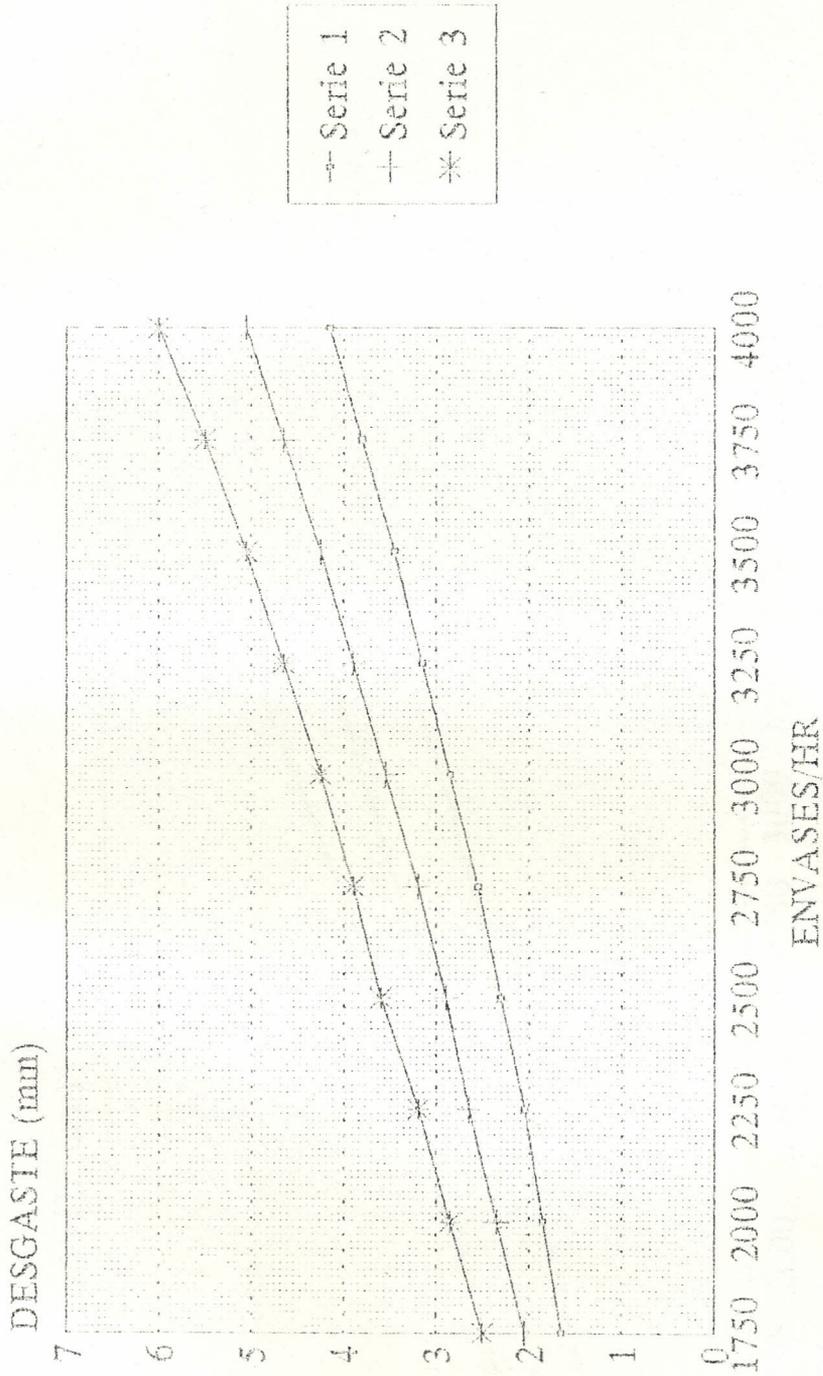
### Diagramas de Desgaste de Acuerdo a la Producción de la Roldana Suministrada por Soudronic .

Desgaste máximo de la roldana para velocidades de soldadura y transportes diferentes con paso de la cadena 500 mm (6 dispositivos de arrastre), altura de las virolas 150 mm y tiempo de operación 2000 horas.

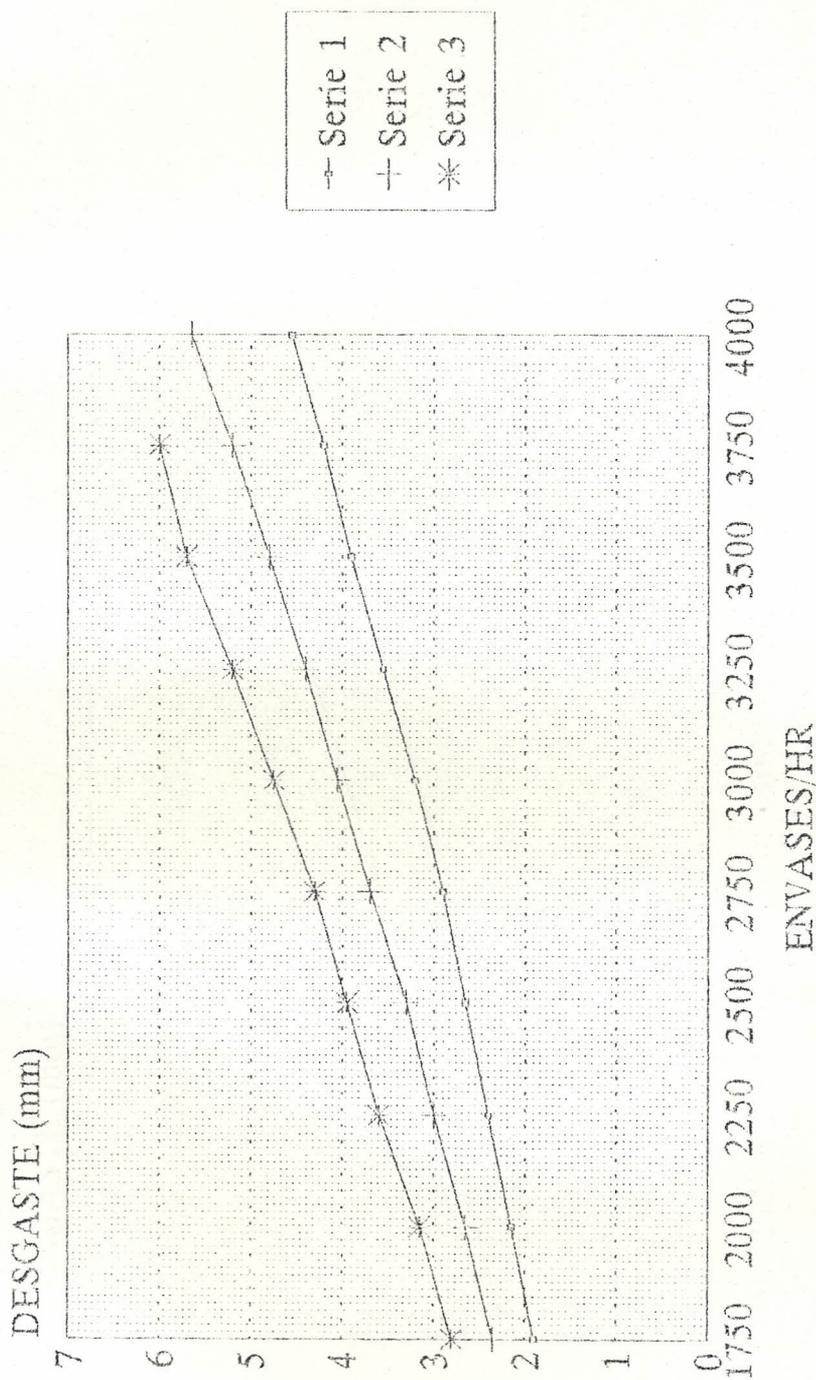
#### Velocidad de Soldadura :

Serie 1	$V_s = 10 \text{ m / min.}$
Serie 2	$V_s = 12.5 \text{ m / min.}$
Serie 3	$V_s = 15 \text{ m / min.}$

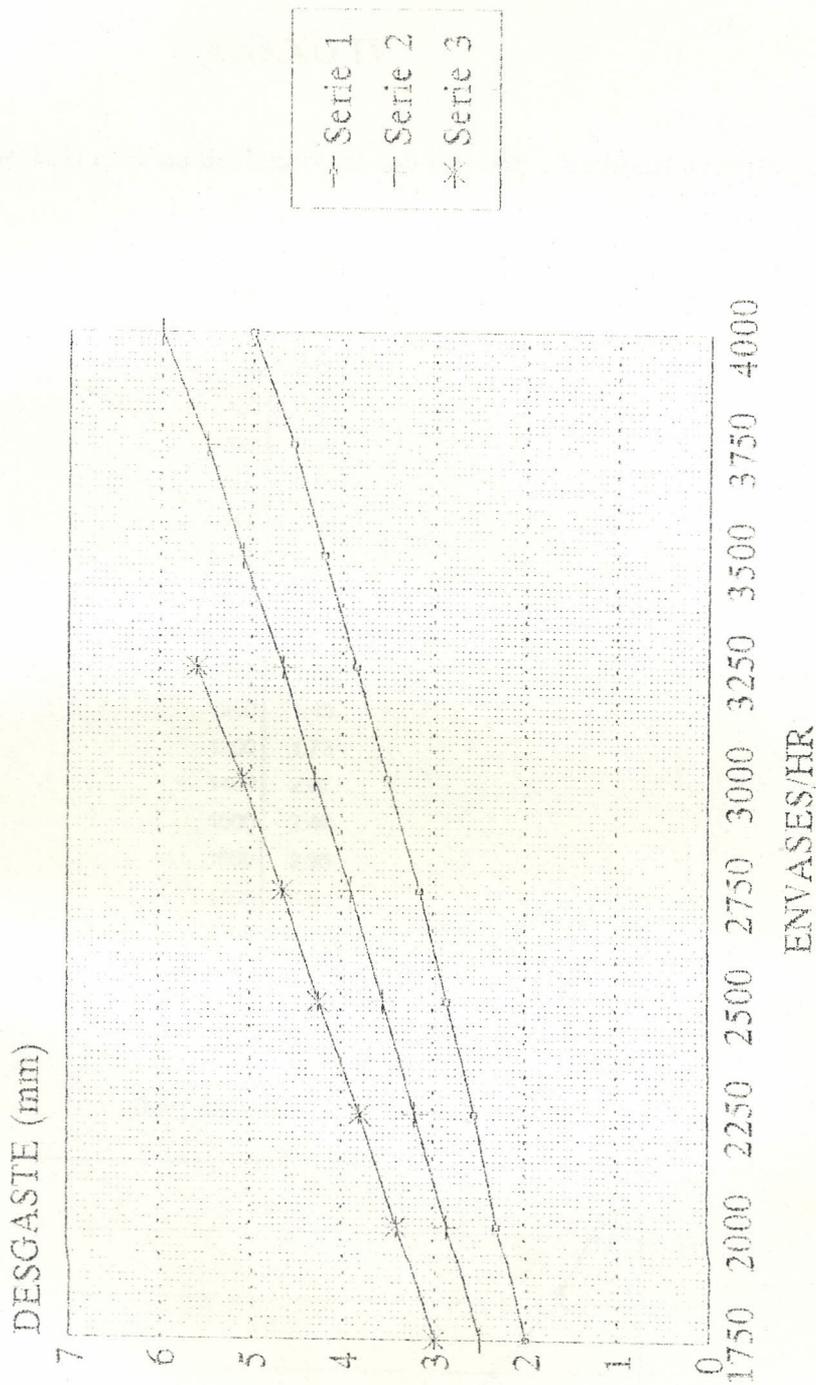
# DESGASTE (mm) VS PRODUCCION (ENVASES/HR) VELOCIDAD DE TRANSPORTE (41M/MIN)



# DESGASTE (mm) VS PRODUCCION (ENVASES/HR) VELOCIDAD DE TRANSPORTE (56 M/MIN)



# DESGASTE (mm) VS PRODUCCION (ENVASES/HR) VELOCIDAD DE TRANSPORTE (70 M/MIN)

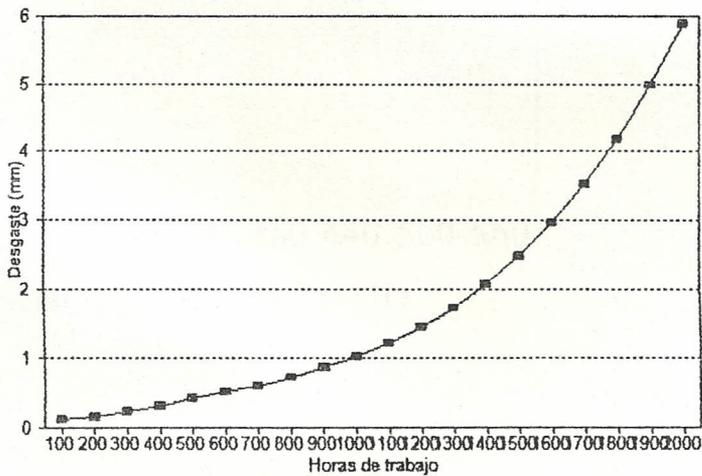


## ANEXO IV

Diagrama de desgaste de la roldana de Soudronic con relación a las horas de trabajo.

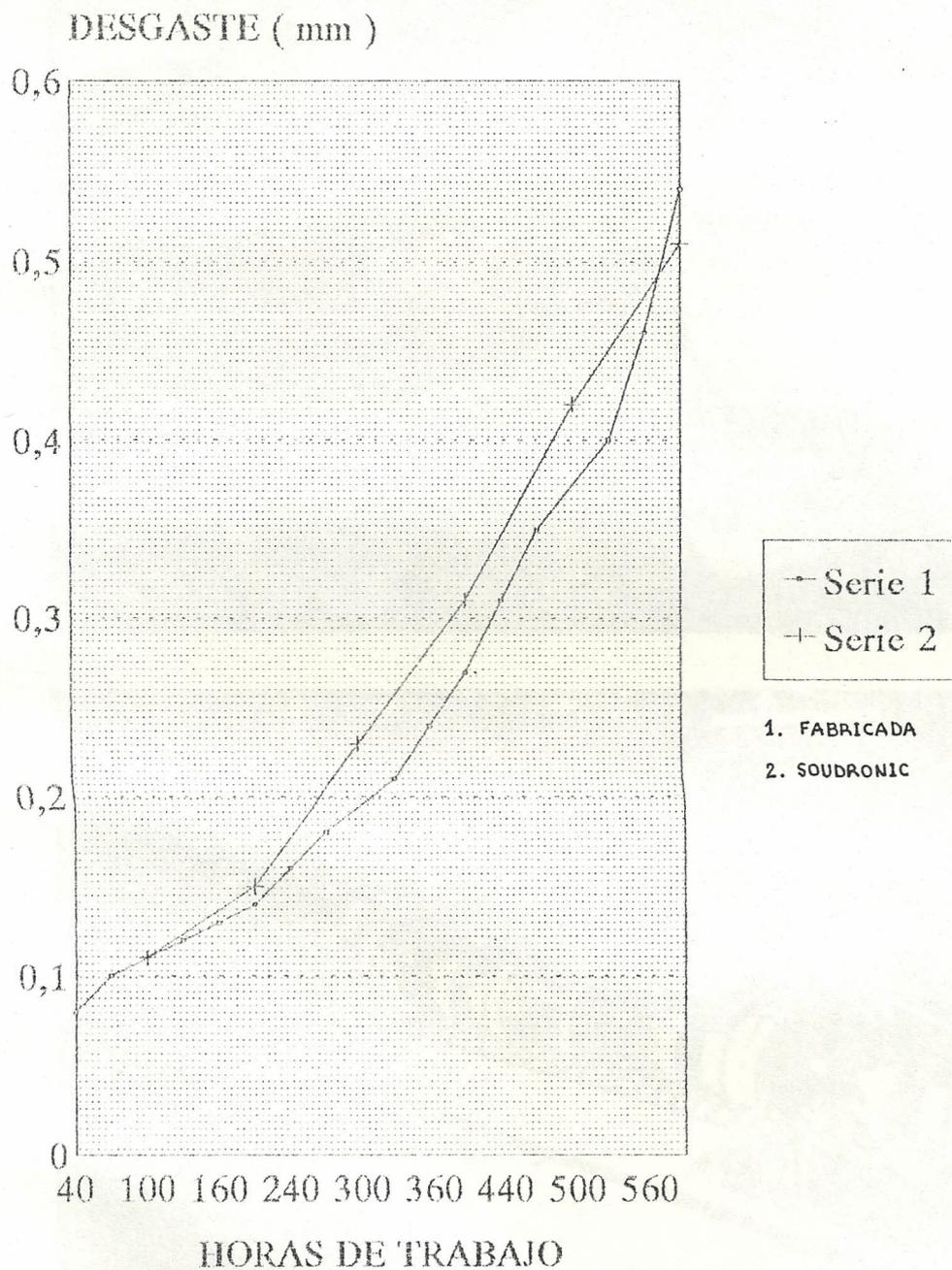
Horas	Desgaste
100	0.11
200	0.15
300	0.23
400	0.31
500	0.42
600	0.51
700	0.6
800	0.72
900	0.87
1000	1.03
1100	1.22
1200	1.45
1300	1.73
1400	2.07
1500	2.48
1600	2.96
1700	3.53
1800	4.18
1900	4.99
2000	5.89

Desgaste vs Horas de Trabajo



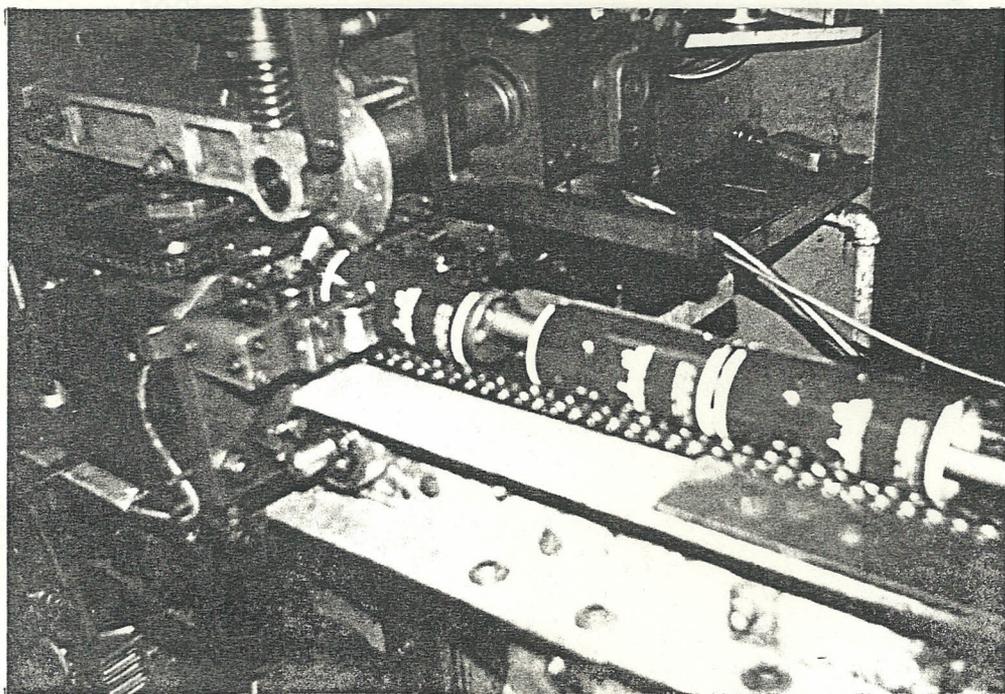
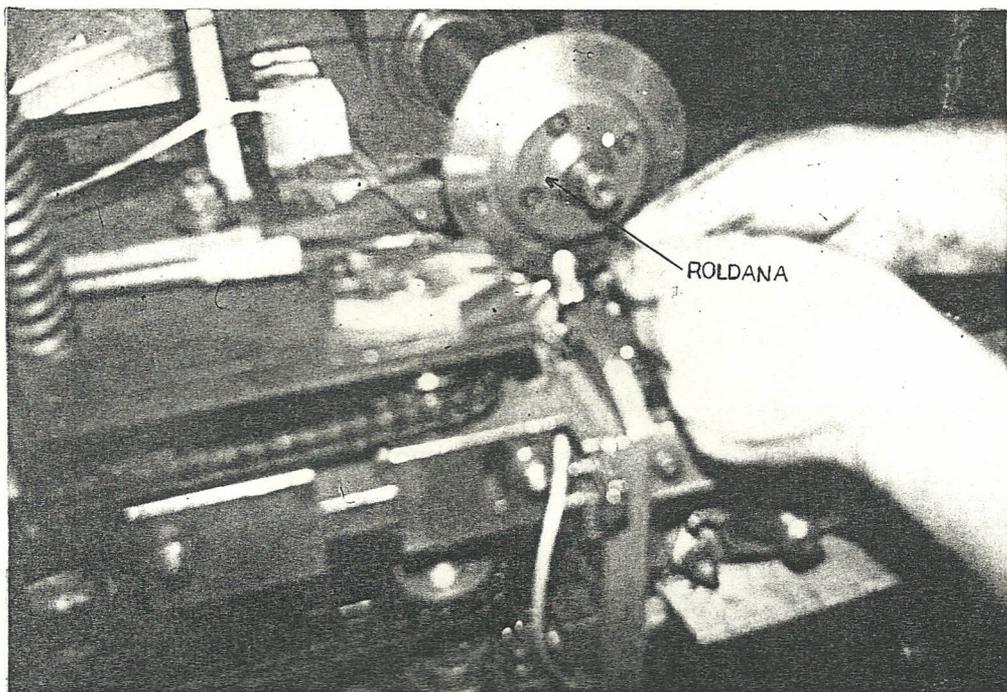
## ANEXO V

Diagramas de desgaste de las roldanas, con relación a las horas de trabajo



## ANEXO VI

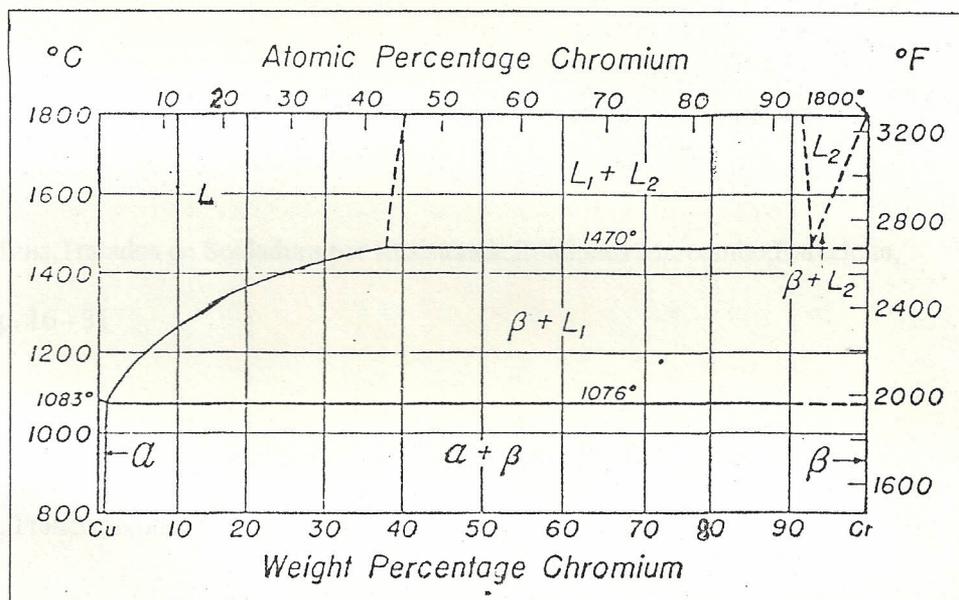
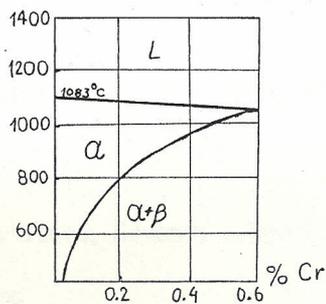
Fotografías que muestran el montaje de la roldana fabricada en la máquina de soldar y la producción en serie de envases de aerosol .



## ANEXO VII

## Diagrama de equilibrio Cobre-Cromo.

Solubilidad entre 400 y 500 °C  $\leq$  0.05 %



American Foundrymen's Society .1984

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Abril, Gustavo, Fabricación de la Aleación Cobre- Cromo, Tesis de Grado, FIM, ESPOL, Guayaquil, 1994.
- 2.- American Foundrymen's Society, Casting Copper-Base Alloys, USA, 1984, pp. 187- 193.
- 3.- AWS, Welding Handbook, Volume Three, Seventh Edition, Editor Kearns, Miami, 1984. pp. 2-28 y pp. 101 - 139
- 4.- AWS Soldadura Eléctrica por Resistencia, Artículos Técnicos, 1989. pp. 40 - 49.
- 5.- Balboa Luis, Tratados de Soldadura por Resistencia, Ediciones Marcombo, Barcelona, 1962. pp. 16 - 31
- 6.- Centre Technique Des Industries de la Fonderie. Methodes de Preparation Des Cuivres, Francia, Notice Cu 10, 1964.
- 7.- Centre Technique Des Industries de la Fonderie. Alliages - Meres Et Desoxidants Utilises en Fonderie D'Alliages Cuivreux, Francia, Notice Cu 40, 1982.
- 8.- Flinn Richard, Copper Bass And Bronze Castings, Veddalitho inc, Ohio, 1963. pp. 70- 73 y pp. 96-99.
- 9.- Hammond Rolt, Soldadura Automatica, Ediciones Urmo, Bilbao, 1981. pp. 39-85.

- 10.- Holasa, Hojalata y Laminado, Medellin, Revista No 40, 1994.
- 11.- Metals Handbook Ninth Edition , Volume 6, USA, 1983.
- 12.- Metals Handbook Ninth Edition, Volume 2, USA, 1979.
- 13.- Soudronic Ag., Instrucción: de Servicio, Suiza, Manual Técnico, 1981.
- 14.- Soudronic Ag, Control del Cordón de Soldadura , Suiza, Artículo Técnico, 1990.
- 15.- Soudronic Ag, Alambre de Cobre Como Electrodo Intermediario, Suiza, Artículo Técnico, 1992.
- 16.- Soudronic, Suiza, Hauptsitz Head Office, Boletín Técnico, 1991.
- 17.- Soudronic, Suiza Hauptsitz Head Office, Boletín Técnico, 1993.
- 18.- Stanley Wallace, Resistance Welding, McCrawHill, New York, 1950.