

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **EVALUACION DE MICROESTRUCTURAS DE SOLDADURA FUERTE APLICADA EN HORNOS A CONDENSADORES Y EVAPORADORES, UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ, FABRICADOS EN INDUSTRIA FAACA.**

Presentado Ante la Ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela para optar al Título  
De Ingeniero Metalúrgico  
Por la Br. Higuera Mirian

Caracas, 2005

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **EVALUACION DE MICROESTRUCTURA DE SOLDADURA FUERTE APLICADA EN HORNO A CONDENSADORES Y EVAPORADORES, UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ, FABRICADOS EN INDUSTRIA FAACA.**

TUTOR ACADÉMICO: Dr. León José.

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Febles Amanda.

Presentado Ante la Ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela para optar al Título  
De Ingeniero Metalúrgico  
Por la Br. Higuera Mirian

Caracas, 2005

## RESUMEN

Higuera O, Mirian C.

### **EVALUACION DE MICROESTRUCTURA DE SOLDADURA FUERTE APLICADA EN HORNO A CONDENSADORES Y EVAPORADORES, UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ, FABRICADOS EN INDUSTRIA FAACA.**

**Tutor Académico: Dr. José B. León. Trabajo especial de grado. Caracas, U.C.V. facultad de Ingeniería. Escuela de Metalurgia y Ciencias de los materiales. 2005.**

**Palabras claves:** Evaporador, Condensador, Soldadura fuerte.

Este trabajo surge por la necesidad de industrias FAACA de mejorar la calidad de sus productos y convertirse en proveedor de sistemas de aire acondicionado a nivel mundial. El objetivo principal planteado es evaluar microestructuralmente las uniones de soldadura de condensadores y evaporadores de aire acondicionado automotriz.

Para lograr este objetivo se realizó un seguimiento minucioso de todo el proceso de fabricación de las colmenas evaporador y condensador enfocando principalmente el proceso de soldadura fuerte en hornos de vacío (evaporador) y de atmósfera controlada (condensador) a fin de identificar las variables que intervienen en cada uno de los procesos.

Se obtuvieron curvas temperatura vs. tiempo para verificar que se cumplieran los parámetros de soldadura, y empleando metalografía se realizó un examen visual microscópico de las características microestructurales de las uniones de soldadura en colmenas evaporador y condensador nacionales fabricadas en Industrias FAACA y colmenas importadas con la finalidad de establecer su relación con las propiedades mecánicas del cordón de soldadura.

En las uniones de soldadura de las colmenas condensador (soldadura fuerte de atmósfera controlada) se observó menor cantidad de óxido de aluminio que en las uniones de las colmenas evaporador, ya que en el proceso de soldadura de los condensadores se utiliza un fundente cuya función principal es disolver este óxido. Por lo tanto, en cuanto a calidad de soldadura obtenida se refiere, el proceso de soldadura fuerte de atmósfera controlada resultó ser el más eficiente.

## ACTA

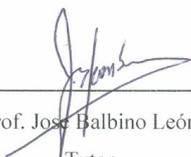
Quienes suscriben, miembros del Jurado designado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, para examinar el Trabajo Especial de Grado titulado:

**“EVALUACION DE MICROESTRUCTURAS DE SOLDADURA FUERTE APLICADA EN HORNOS A CONDENSADORES Y EVAPORADORES, UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ, FABRICADOS EN INDUSTRIAS FAACA”**

Presentado ante la ilustre **Universidad Central de Venezuela** por la Br. Mirian Coromoto Higuera Ortega, dejan constancia de lo siguiente:

Hemos leído este trabajo y participado en su discusión, encontrando que el mismo es suficiente en contenido, calidad y extensión para cumplir con todos los requerimientos establecidos para optar por el título de Ingeniero Metalúrgico.

En fe de lo cual se levanta la presente acta en Caracas a los quince días del mes de noviembre de dos mil cinco.



---

Prof. José Balbino León

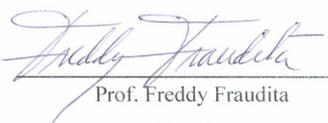
Tutor



---

Prof. Sonia Camero

Jurado



---

Prof. Freddy Fraudita

Jurado

## VEREDICTO

Los suscritos, miembros del jurado examinador designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales de la Universidad Central de Venezuela, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el bachiller **MIRIAN COROMOTO HIGUERA ORTEGA C.I. 14871350**, el cual lleva el título: **“EVALUACION DE MICROESTRUCTURAS DE SOLDADURA FUERTE APLICADA EN HORNOS A CONDENSADORES Y EVAPORADORES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ, FABRICADOS EN INDUSTRIAS FAACA”**, decidimos conferirle una **MENCION HONORIFICA** como premio al esfuerzo realizado y como estímulo a la actividad creativa demostrada en el transcurso de la elaboración de esa Tesis de Grado.

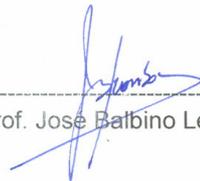
En fe de lo anteriormente expuesto se levanta la presente Acta en Caracas, a los quince días del mes de noviembre de 2005, dejándose constancia que, de acuerdo a la normativa vigente, actuó como Coordinador del jurado examinador el Prof. José Balbino León S.



Prof. Sonia Camero



Prof. Freddy Fraudita



Prof. José Balbino León S.

## DEDICATORIA

- A JEHOVA, Dios Omnipotente, quien me dio sabiduría y fortaleza para lograr esta meta.”*Padre, gracias por tus bendiciones*”
- A la memoria de mi abuelo Angel Rafael Ortega, “*Paíto lo logramos*”.
- A la memoria de Arnaldo José Guerra Castellano, siempre te recordaré.
- A mis padres, Carmen Luisa Ortega y Henry Higuera, por darme la vida, apoyarme en todo momento y enseñarme a luchar por alcanzar mis metas.
- A mis hermanos por quererme y aceptarme tal como soy. Los amo.
- A toda mi familia, especialmente mi tía Arelis Ortega, por confiar en mi e incluirme en sus oraciones, “*DIOS los escuchó*”.
- A la UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, aunque la última no menos importante, por ser mi segundo hogar y por ayudarme a crecer profesional y espiritualmente.

## AGRADECIMIENTOS

- A la Ing. Amanda Febles, por confiar en mí desde el principio y por ayudarme a crecer profesionalmente.
- A todo el personal de Industrias FAACA, especialmente a Humberto Vegas, Freddy Escalona, Carmen Lucena, Yimena Pacheco y Luis Machado, por su ayuda incondicional en la realización de este trabajo.
- A todos los profesores que me instruyeron a lo largo de toda mi carrera, especialmente a la Prof. Sonia Camero, Prof. Freddy Fraudita, Prof. Carlo Di Dorio, Prof. Abilio Carrillo.
- A todo el personal del CITALA por su colaboración en la realización de este trabajo.
- Al Dr. José Balbino León, quien no sólo es el tutor de esta tesis, sino un buen amigo y maestro. Gracias Profesor, por su apoyo incondicional y su confianza en mí.
- A mis chicas Resi: Laura Torres, Yerli Gutiérrez, Lusmari Matute, Carolina Gámez, Whenddy Tremont, por compartir conmigo buenos y malos momentos.
- A mi amiga: Mariana Montero, por enseñarme el verdadero sentido de la amistad, por ser mi compañera de estudio durante toda mi carrera, por su apoyo incondicional, y acompañarme en buenos y malos momentos. “*Gracias Mari*”.
- A mis compañeros: José Pacheco, Giovanni Murillo, Juan Olivares, Jhonny Buitrago, por su ayuda en la realización de este trabajo.

## INDICE

1	INTRODUCCION	1
2	FUNDAMENTO TEORICO	3
2.1	Aire acondicionado	3
2.1.1	Funciones del aire acondicionado	3
2.1.2	Funcionamiento del Aire Acondicionado	6
2.1.3	Componentes de un circuito de aire acondicionado	5
2.1.3.1	El Compresor	5
2.1.3.2	El condensador	6
2.1.3.3	La válvula de expansión	7
2.1.3.4	El evaporador	7
2.2	Soldadura Fuerte	8
2.2.1	Procesos básicos de aplicación de soldadura Fuerte	9
2.2.1.1	Soldadura fuerte manual con soplete	9
2.2.1.2	Soldadura fuerte de resistencia	9
2.2.1.3	Soldadura fuerte por inmersión	10
2.2.1.4	Soldadura fuerte aplicada por inducción	10
2.2.1.5	Soldadura fuerte aplicada en horno	11
2.2.1.5.1	Soldadura fuerte aplicada en horno de vacío	11
2.2.1.5.2	Soldadura fuerte aplicada en horno de atmósfera controlada	11
2.2.2	Efectos del proceso de Soldadura Fuerte en el metal base y metal de aporte	12
2.2.2.1	Precipitación de carburos	12
2.2.2.2	Óxidos residuales	13
2.2.2.3	Fragilización ocasionada por el hidrógeno	13
2.2.2.4	Fragilización ocasionada por azufre	13
2.2.2.5	Fragilización ocasionada por el fósforo	14
2.2.2.6	Presión de vapor	14
2.2.2.7	Agrietamiento por esfuerzo	14
2.3	Aluminio y sus aleaciones	15
2.3.1	Sistema de designación de las aleaciones de aluminio	15
2.3.2	Aleaciones de aluminio endurecibles por tratamiento térmico	17

2.3.2.1	Aleaciones Aluminio-Cobre (2XXX)	17
2.3.2.2	Aleaciones de Aluminio-Silicio-Magnesio (6XXX)	17
2.3.2.3	Aleaciones Aluminio-Zinc (7XXX)	18
2.3.3	Aleaciones de Aluminio endurecibles por tratamiento térmico	18
2.3.3.1	Aleaciones de Aluminio de pureza comercial (1XXX)	18
2.3.3.2	Aleaciones Aluminio-Manganeso (3XXX)	19
2.3.3.3	Aleaciones Aluminio-Silicio (4XXX)	19
2.3.3.4	Aleaciones de Aluminio-Magnesio (5XXX)	19
2.3.3.5	Aleaciones Aluminio-Otros elementos (8XXX)	20
3	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	23
3.1	Selección del modelo	24
3.1.1	Modelo de colmena evaporador	24
3.1.2	Modelo de colmena condensador	24
3.2	Identificación de las variables que intervienen en los procesos de soldadura	26
3.3	Determinación de las curvas Temperatura Vs. Tiempo	28
3.4	Obtención de las muestras	29
3.4.1	Evaporadores	29
3.4.2	Condensadores	29
3.4.3	Análisis químico	30
3.5	Metalografía	30
3.5.1	Corte	30
3.5.1.1	Evaporadores	30
3.5.1.2	Condensadores	31
3.5.2	Embutido	32
3.5.3	Desbaste y Pulido	33
3.5.4	Ataque Electrolítico	34
3.5.5	Observación de microestructuras	34
4	Discusión de resultados	36
4.1	Determinación de curvas temperatura vs. Tiempo en horno de vacío y en horno de atmósfera controlada	36
4.2	Microestructuras de las zonas de soldadura en evaporadores nacionales	38

4.2.1	Unión aleta-plato	38
4.2.2	Soldadura Plato-Plato	40
4.2.3	Soldadura Plato-Conector	43
4.2.4	Soldadura Conector-Conector	44
4.3	Microestructuras de las zonas de soldadura en condensadores nacionales	45
4.3.1	Unión aleta-multiport	47
4.3.2	Unión tapa-tubo distribuidor	49
4.3.3	Unión divisor-tubo distribuidor	50
4.3.4	Unión tubo multiport-tubo distribuidor	51
4.4.	Colmenas importadas	52
4.4.1	Análisis Químico	52
4.4.2	Microestructuras de las zonas de soldadura en evaporador importado	54
4.4.2.1	Unión aleta-plato	54
4.4.2.2	Unión plato-plato	54
4.4.2.3	Unión plato-conector	57
4.2.4.4	Unión conector-conector	57
4.4.3	Microestructuras de zonas de soldadura en condensadores importados	58
4.4.3.1	Unión aleta-multiport	58
4.4.3.2	Unión tapa tubo distribuidor	58
4.4.3.3	Unión divisor-tubo distribuidor	59
4.4.3.4	Unión multiport- tubo distribuidor	59
5	CONCLUSIONES	61
6	RECOMENDACIONES	62
7	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	63

## INDICE DE FIGURAS

2.1	Sección transversal de un compresor de pistón	6
2.2	Condensador	6
2.3	Válvula de expansión	7
2.4	Evaporador	8
2.5	Lámina de metal base recubierta por ambos lados con metal de aporte	11
3.1	Diagrama de procedimiento experimental	23
3.2	Evaporador: Modelo Fiat Palio	24
3.3	Evaporador Importado: Modelo Prado	24
3.4	Condensador Modelo Renault Clío	25
3.5	Condensador Importado Modelo IMV 692N	25
3.6	Horno de Vacío	27
3.7	Esquema del horno de atmósfera controlada	28
3.8	Datapaq	28
3.9	Vista Frontal Colmena Evaporador	312
3.10	Vista lateral de Colmena Evaporador	31
3.11	Esquema de Colmena Condensador	32
3.12	Vista frontal de Colmena Condensador	32
3.13	Embutidora Marca BUEHLER	33
3.14	Pulidora semiautomática METALSERV 2000	34
3.15	Microscopio Óptico y Cámara marca OLYMPUS	35
4.1	Gráfica Temperatura Vs. Tiempo obtenida con el DATAPAQ en el horno de atmósfera controlada	36
4.2	Gráfica Temperatura Vs. Tiempo obtenida con el DATAPAQ en el horno de vacío	37
4.3	Micrografía de la unión aleta-plato Muestra 1. Aumento 100X	38
4.4	Micrografía de la unión aleta-plato Muestra 2. Aumento 100X	38
4.5	Micrografía de la unión aleta-plato Muestra 1. Aumento 200X	39
4.6	Micrografía de la unión aleta-plato Muestra 2. Aumento 200X	40
4.7	Micrografía Unión entre platos refrigerantes Muestra 1. Aumento 100X	40
4.8	Micrografía Unión entre platos refrigerantes Muestra 2. Aumento 100X	41

4.9	Micrografía Unión entre platos refrigerantes Muestra 1. Aumento 200X	41
4.10	Micrografía unión entre platos refrigerantes (Zona Central) Muestra 2. Aumento 200X	42
4.11	Micrografía Unión Plato-Conector Muestra 1. Aumento 100X	43
4.12	Micrografía Unión Plato-Conector Muestra 2. Aumento 100X	43
4.13	Micrografía Unión Conector-Conector Muestra 1. Aumento 100X	44
4.14	Micrografía Unión Conector-Conector Muestra 1. Aumento 100X	45
4.15	Micrografía Unión aleta-tubo multiport Muestra 1. Aumento 200X	45
4.16	Micrografía Unión aleta-tubo multiport Muestra 2. Aumento 200X	46
4.17	Micrografía Unión tapa-tubo distribuidor Muestra 1. Aumento 100X	49
4.18	Micrografía Unión tapa-tubo distribuidor Muestra 2. Aumento 100X	49
4.19	Micrografía Unión divisor-tubo distribuidor Muestra 1. Aumento 100X	50
4.20	Micrografía Unión divisor-tubo distribuidor Muestra 2. Aumento 100X	50
4.21	Micrografía Unión tubo multiport-tubo distribuidor Muestra 1. Aumento 100X	51
4.22	Micrografía Unión tubo multiport-tubo distribuidor Muestra 2. Aumento 100X	51
4.23	Micrografía Unión aleta-plato. Aumento 100X	54
4.24	Micrografía Unión plato-plato. Aumento 100X	54
4.25	Micrografía Unión plato-plato interna. Aumento 200X.	55
4.26	Micrografía Unión plato-plato externa	55
4.27	Micrografía Unión plato-plato externa. Aumento 100X	56
4.28	Micrografía Unión plato-conector. Aumento 100X	57
4.29	Micrografía Unión conector-conector. Aumento 200X.	57
4.30	Micrografía Unión Aleta-Multiport. Aumento 200X	58
4.31	Micrografía Unión tapa-tubo distribuidor. Aumento 100X	58
4.32	Micrografía Unión divisor-tubo distribuidor. Aumento 200X	59
4.33	Micrografía Unión multiport- tubo distribuidor. Aumento 200X	59

## INDICE DE TABLAS

1	Designación de aleaciones de Aluminio forjadas	16
2	Designación de las aleaciones de aluminio fundidas	16
3	Composición de algunas aleaciones de aluminio forjadas no termotratables comerciales	21
4	Composición de algunas aleaciones de aluminio forjadas termotratables comerciales	22
5	Parámetros de soldadura fuerte en horno de vacío	29
6	Parámetros de Soldadura fuerte en horno de atmósfera controlada	29
7	Materia prima de los componentes del evaporador	30
8	Materia prima de los componentes del condensador	31
9	Composición Química de los componentes de las colmenas evaporador y condensador importados	53

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

Los primeros equipos de confort térmico datan de 1955, y éstos fueron sistemas de calefacción instalados en los vehículos en aquellas épocas del año en que las temperaturas exteriores eran muy bajas y se han ido desarrollando hasta llegar a los más sofisticados sistema de climatización que permiten regular la temperatura del interior del vehículo en todas las condiciones climáticas. Hoy en día más del 93% de los vehículos vendidos vienen equipados con sistema de aire acondicionado.

La soldadura fuerte del aluminio es el procedimiento preferido hoy en día para la fabricación de intercambiadores de calor automovilístico tales como: radiadores condensadores, evaporadores, etc. El aluminio es el material ideal para la fabricación de estos intercambiadores de calor debido a su buena resistencia a la corrosión, conformabilidad y alta conductividad térmica.

Industrias FAACA es una empresa fabricante de componentes de equipos de aire acondicionado automotriz y que provee a clientes como: FORD MOTORS DE VENEZUELA, GENERAL MOTORS, TOYOTA, FIAT, MACK DE VENEZUELA, MMC VENEZOLANA S.A., RENAULT, CHRYSLER MOTORS etc, de todo el sistema de aire acondicionado para los distintos modelos de vehículos que cada uno de ellos ensamblan. Día a día se realizan grandes esfuerzos por permanecer en el selecto grupo de proveedores confiables de estas empresas, no sólo por satisfacer su demanda y entregando en el tiempo estimado los productos, sino por cumplir y superar las expectativas de calidad de sus clientes.

Al plantearse esta meta, Industrias FAACA ha venido implementando un sistema de gestión de calidad que consiste en controlar y mejorar continuamente cada uno de sus procesos para así corregir las fallas en su lugar de origen y evitar que se arrastren fallas de unos procesos a otros, en el caso específico de este trabajo se pretende estudiar y controlar

las variables que intervienen en el proceso de soldadura fuerte aplicada en horno al vacío (colmena evaporador) y horno de atmósfera controlada (colmena condensador) comparando microestructuralmente las distintas uniones.

Por las razones antes expuestas se hace necesario la realización de este trabajo a fin de detectar las fallas que están ocurriendo en el proceso de soldadura y como éstas están influyendo en la calidad de soldadura obtenida y por otro lado comparar microestructuralmente las uniones de soldadura de las colmenas importadas y las de las colmenas nacionales de manera de establecer condiciones de proceso que permitan a Industrias FAACA fabricar colmenas soldadas por soldadura fuerte al vacío y de atmósfera controlada con cordones de soldadura de calidad similar o superior a los cordones de soldadura de las colmenas importadas y así garantizar a sus clientes productos de calidad de fabricación nacional y ganar terreno en el mercado internacional.

## **CAPITULO II**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO**

#### **2.1. AIRE ACONDICIONADO**

La función principal del aire acondicionado se puede enunciar como:  
“Asegurar el confort climático de los pasajeros mediante el tratamiento del aire y permitiendo el control mediante mandos sencillos”(1).

##### **2.1.1. Funciones del aire acondicionado**

Se pueden atribuir algunas funciones adicionales:

- Asegurar la visibilidad a través del parabrisas y vidrios laterales, permitiendo un desempañado rápido en ambientes fríos o húmedos.
- Captación del aire exterior o recirculación del aire del habitáculo
- Impulsión del aire
- Tratamiento de la calidad del aire, eliminación de las partículas en suspensión, protección contra la polución y los olores.
- Tratamiento térmico e higrométrico.
- Distribución del aire tratado a las diferentes zonas del habitáculo.
- Circulación del aire alrededor de los ocupantes del vehículo.
- Extracción del aire hacia el exterior o captación del mismo para la recirculación.
- Mejorar la eficacia aerodinámica del vehículo y reducir el consumo de combustible al circular con las ventanillas cerradas.
- Aumentar la seguridad en la conducción al reducir la fatiga y mejorar la visibilidad.

##### **2.1.2. Funcionamiento del Aire Acondicionado**

Partiendo del principio que establece que “Es imposible la transmisión espontánea de calor en el sentido de las temperaturas crecientes” (Segunda ley de la

Termodinámica), el trabajo de una maquina frigorífica consiste en absorber calor de un ambiente a baja temperatura (habitáculo del vehículo) y transmitirlo a otro de temperatura superior (ambiente exterior). Para que esto suceda es necesario introducir en el sistema cierta potencia. Esta la proporciona el compresor que utiliza parte de la potencia producida por el motor del vehículo.

Los componentes fundamentales en un circuito de aire acondicionado son: Compresor, Condensador, Válvula de Expansión y Evaporador entre otros. Estos elementos se encuentran conectados entre si formando un circuito cerrado por el que circula un fluido refrigerante. El principio de funcionamiento se puede resumir en seis (6) etapas:

- ◆ Primera etapa: Entrada al compresor, el fluido refrigerante en forma de gas es aspirado por el compresor a baja presión y baja temperatura (3 bar y 5°C).

- ◆ Segunda etapa: Compresión, a la salida del compresor el fluido se encontrará en forma de gas a alta presión y debido al incremento de presión se encontrará también a alta temperatura (20bar y 100°C).

- ◆ Tercera etapa: Condensación, en el condensador que es un intercambiador térmico, se refrigera el fluido por efecto del flujo de aire que lo atraviesa (avance del vehículo o electroventiladores) hasta que alcanza la temperatura de condensación. En estas condiciones a la salida del condensador se tendrá liquido a alta presión y menor temperatura ( 19 Bar y 60°C).

La energía cedida por el fluido durante la condensación, se transmite por las aletas del condensador al aire exterior. Por tanto en esta etapa es donde se consigue ceder calor a un ambiente exterior a superior temperatura que el habitáculo del vehículo.

- ◆ Cuarta etapa: Expansión, el fluido en estado líquido llega a la válvula de expansión, que le hace pasar por un pequeño orificio ocasionando una caída brusca de presión, pasando al estado de mezcla liquido-vapor a (3Bar y 0°C).

◆ Quinta Etapa: Evaporación, el fluido en estado de mezcla entra en el evaporador donde va a completar su cambio de estado. El calor que aporta el aire caliente que atraviesa el evaporador es cedido al refrigerante. Con esto se aporta el calor latente necesario para el cambio de estado a presión y temperaturas constantes.

La cesión de calor del aire en el evaporador hace disminuir su temperatura antes de ser introducido en el habitáculo del vehículo mediante las turbinas impulsoras. El aire al enfriarse, deposita sobre las aletas del evaporador parte de la humedad que contiene en forma de gotas. Por lo tanto el aire enviado al interior del vehículo es enfriado y deshumidificado.

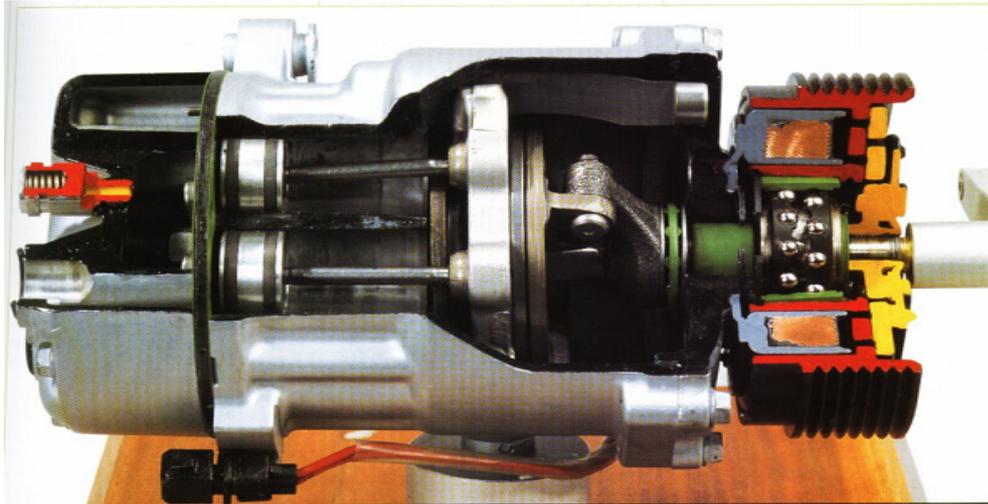
Sexta etapa: Control, el fluido debe salir del evaporador totalmente en estado gaseoso, evitando la posibilidad de que entre como líquido en el compresor, lo cual produciría su deterioro. Para ello se emplean válvulas de expansión termostáticas, que regulan el caudal de fluido que entra al evaporador para mantener constante la temperatura de salida del evaporador y la temperatura de evaporación. Esta diferencia se denomina recalentamiento y suele estar comprendida entre 3.5 y 7°C. Una vez en este punto el fluido en estado gaseoso a baja presión y baja temperatura, vuelve a entrar en el compresor iniciándose de nuevo el ciclo.

### **2.1.3. Componentes de un circuito de aire acondicionado**

#### **2.1.3.1. El Compresor**

Se define un compresor como una maquina que transforma la energía mecánica suministrada por el motor del vehículo, comprimiendo e impulsando el refrigerante en estado de vapor (gas), por un procedimiento mecánico. El compresor aumenta la presión, la entalpía y la temperatura del fluido.

El compresor aspira el fluido frío proveniente del evaporador en estado gaseoso de baja presión y lo impulsa hacia el condensador en estado gaseoso a alta presión y alta temperatura y además asegura la circulación del refrigerante a lo largo de todo el circuito.

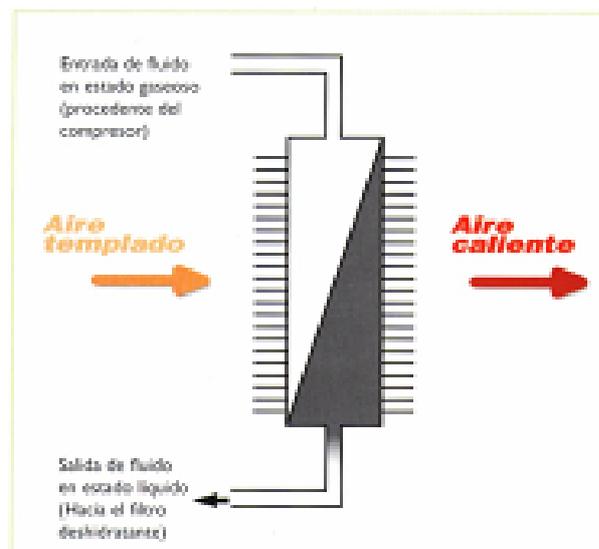


**Figura 2.1 Sección transversal de un compresor de pistón (1)**

### 2.1.3.2. EL CONDENSADOR

El condensador es un intercambiador térmico cuya misión es enfriar el fluido refrigerante mediante el aire ambiente. Esta refrigeración permite transformar el fluido refrigerante del estado de vapor recalentado al estado líquido subenfriado.

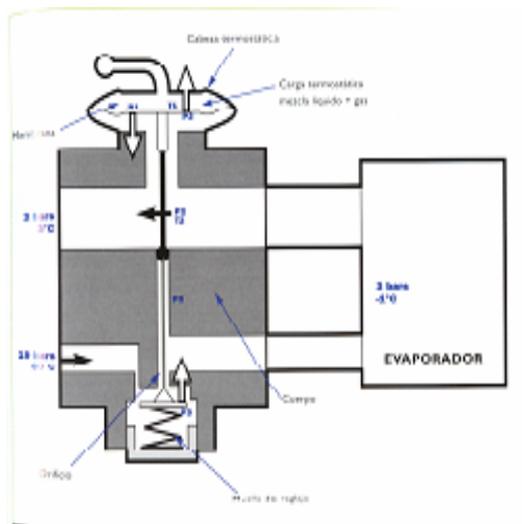
El condensador se encuentra situado en la parte frontal del vehículo, entre el compresor y el filtro deshidratador. Este además de transformar el fluido de gas a líquido, extrae calor del fluido y lo transmite al exterior.



**Figura 2.2 Esquema de Condensador (1)**

### 2.1.3.3. La válvula de expansión

La función de la válvula de expansión consiste en producir la caída de presión del refrigerante, sin intercambio de energía con el exterior. El orificio de la válvula de expansión, al ser de talla variable, regula el caudal de refrigerante que penetra en el evaporador en función de la temperatura. La expansión del refrigerante trae consigo una caída de presión, una baja de temperatura y por tanto una producción de frío y un paso de estado líquido del refrigerante a estado difásico (líquido-vapor).



**Figura 2.3 Válvula de expansión (1)**

### 2.1.3.4. El evaporador

Al igual que el condensador, el evaporador es un intercambiador térmico que realiza el intercambio de calor entre el refrigerante y el aire ambiente.

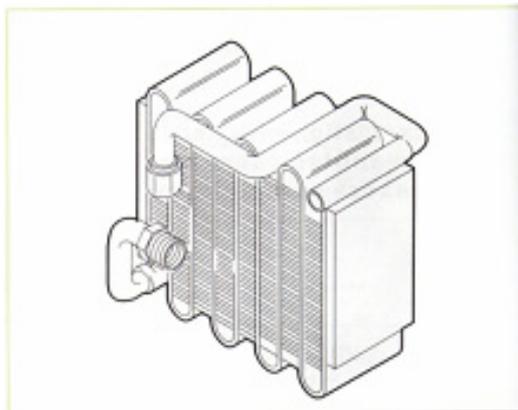
En el evaporador se produce el cambio de estado del refrigerante de líquido a vapor recalentado mediante la absorción de calor del flujo de aire a refrigerar.

Las dos funciones principales del evaporador son: refrigerar el aire que penetra al habitáculo y secar el aire que penetra en el habitáculo. El evaporador lleva a cabo el paso de calor de una fuente caliente (aire ambiente) a una fuente fría (refrigerante). Esta transferencia de calor se traduce sobre los fluidos implicados en los procesos siguientes:

El refrigerante penetra en el evaporador fundamentalmente en estado de mezcla liquido-vapor a baja presión (2 a 4 Bar) y a baja temperatura (-5 a 8°C). Al absorber calor del aire ambiente el refrigerante pasa de estado difásico (liquido-gas) a estado gaseoso. El gas obtenido en la evaporación se recalienta entre 5 y 10 °C antes de ser aspirado por el compresor.

Al ser aspirado el aire ambiente desde el habitáculo o desde el exterior hacia el evaporador se encuentra con su superficie fría, produciéndose las siguientes transformaciones: refrigeración y deshumidificación por condensación de la humedad que contiene.

El agua que aparece se evacua hacia el exterior del vehículo mediante un orificio situado en el fondo del conjunto evaporador. Si la temperatura de la superficie del evaporador es inferior a 0°C el agua se congela. Cuando esto ocurre deja de pasar el aire climatizado al interior del vehículo. Para que esto no ocurra se sitúa una sonda de temperatura en las aletas del evaporador cuya función es desconectar el compresor cuando la temperatura del evaporador es inferior a 0°C.(1-3)



**Figura 2.4 Evaporador (1)**

## **2.2. SOLDADURA FUERTE**

La American Welding Society define la soldadura fuerte como: “proceso en el que se produce coalescencia mediante calentamiento a temperaturas adecuadas por encima de 800 °F, y la utilización de un metal de aporte no ferroso con un punto de

fusión inferior al del metal base, distribuyéndose el metal de aporte entre las superficies perfectamente ajustadas de la junta por atracción capilar”.

## **2.2.1. Procesos básicos de aplicación de soldadura Fuerte**

**2.2.1.1. Soldadura fuerte manual con soplete:** soplete para soldadura con gas para combustión de acetileno, hidrógeno o metano en conjunto con aire u oxígeno.

- **Ventajas:** método flexible, aplicable a muchísimos ensambles, el equipo es de bajo costo y el calor puede aplicarse en forma localizada.
- **Limitaciones:** la pieza de trabajo se oxida, se requiere de operador con habilidad, proceso relativamente lento, limita los metales base que pueden ser soldados mediante este procedimiento, las juntas múltiples o inaccesibles no pueden soldarse y el calentamiento localizado ocasiona deformación.
- **Materiales de aporte:** aceros al carbono, aceros inoxidable, aleaciones de aluminio, aleaciones de cobre, aleaciones de magnesio.
- **Metales base que pueden soldarse:** acero, cobre, aleaciones de cobre acero inoxidable, níquel y aleaciones de níquel.
- **Aplicaciones:** en pequeñas operaciones de producción en las que el bajo costo del equipo compense las desventajas inherentes.

**2.2.1.2. Soldadura fuerte de resistencia:** el calor se suministra a la pieza de trabajo por conducción desde los electrodos calientes de carbón o por la resistencia de la pieza de trabajo al paso de la corriente.

- **Ventajas:** período corto de adiestramiento del operador, el equipo es de bajo costo y sencillo, calentamiento localizado y rápido, régimen de producción moderado, efectivo para soldaduras largas de costura.
- **Limitaciones:** es posible que ocurra deformación, el tamaño del ensamble es limitado.

- **Materiales de aporte:** Cobre fosforado, aleaciones de plata.
- Metales base que pueden soldarse: acero, cobre, aleaciones de cobre, acero inoxidable, níquel y aleaciones de níquel.
- **Aplicaciones:** en aquellos casos en donde se necesita combinar calor y presión para asegurar una buena junta, se utiliza para soldar partes pequeñas, especialmente componentes eléctricos unidos con plata y cobre fosforado.

**2.2.1.3. Soldadura fuerte por inmersión:** también llamada soldadura fuerte en baño de sal, la pieza a soldar se sumerge en un baño de sal fundida para calentarla. El baño puede actuar como fundente.

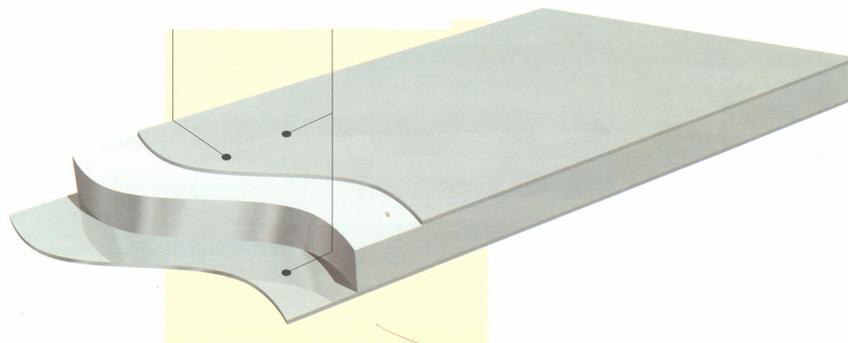
- **Ventajas:** control exacto de la temperatura, calentamiento rápido, es posible soldar cobre con este tipo de soldadura, no se necesita fundente para algunas aplicaciones.
- **Limitaciones:** existe peligro de explosión con partes húmedas, arrastre de sal, las partes a soldar deben lavarse, ocurre oxidación durante el enfriamiento, está limitado a la soldadura fuerte de partes pequeñas, tales como alambres o soleras angostas de metal.
- **Material de aporte:** aleaciones de latón para soldadura fuerte y aleaciones de plata.
- **Metales base que pueden soldarse:** acero, cobre, aleaciones de cobre, acero inoxidable, níquel y aleaciones de níquel.
- **Aplicaciones:** aplicables a partes que requieren calentamiento rápido.

**2.2.1.4. Soldadura fuerte aplicada por inducción:** este es un proceso en el cual las superficies de los componentes que han de unirse se calientan selectivamente, hasta la temperatura de aplicación, por medio de la energía eléctrica suministrada por una unidad de calentamiento por inducción. El calentamiento se produce como resultado de las corrientes parásitas que se inducen en el metal de la pieza de trabajo, la cual por efecto de la resistividad eléctrica y del paso de una corriente alterna inducida, se calienta.

- **Ventajas:** calentamiento rápido y localizado, adaptado a la producción masiva.
- **Limitaciones:** posible deformación debido al calentamiento local, no aplica para soldadura fuerte de cobre, es difícil de controlar la temperatura.
- **Materiales de aporte:** aleaciones de plata y cobre fosforado.
- **Metales base que pueden soldarse:** acero, aleaciones de cobre, acero inoxidable, aleaciones de níquel y níquel.
- **Limitaciones:** aplica sólo en los casos en los que la junta no sea demasiado profunda y los componentes no sean demasiado pesados, aplicable a soldadura fuerte con plata para producción masiva. (4)

**2.2.1.5. Soldadura fuerte aplicada en horno:** proceso en el cual se logra la unión mediante la utilización de un material de aporte, de baja tensión superficial, cuyo punto de fusión es inferior al de la aleación base. Una vez fundido el material de aporte se distribuye entre las superficies; calentadas, limpias y perfectamente ajustadas, de la junta por atracción capilar formando una unión metálica entre las dos superficies (5).

La pieza a soldar se calienta en un horno en presencia de una atmósfera reductora, o libre de oxígeno que proteja los ensambles de la oxidación durante el proceso de soldadura y enfriamiento. La soldadura fuerte aplicada en horno es factible únicamente si el material de aporte puede ser precolocado en la junta antes de ser soldada. Este se coloca en forma de un recubrimiento de espesor mínimo por ambos lados del metal base (4).



**Figura 2.5 Lámina de metal base recubierta por ambos lados con metal de aporte (5)**

**2.2.1.5.1. Soldadura fuerte aplicada en horno de vacío:** no se requiere fundente pero es difícil mantener la pureza de la atmósfera del horno de soldadura. Por lo tanto se requiere la limpieza de las superficies y precisión en el ajuste de las piezas a soldar.

**2.2.1.5.2. Soldadura fuerte aplicada en horno de atmósfera controlada:** se requiere un fundente que disuelva la capa de óxido de la superficie de aluminio que se desea unir y proteja de una posterior oxidación. El fundente permite que el metal fluya libremente en la junta por medio de fuerzas capilares, al enfriarse el fundente solidifica y permanece en la superficie como una fina película que no es necesario eliminar.

- **Ventajas:** no hay fusión del metal base, por lo que se evitan los problemas metalúrgicos ligados con la misma, permite unir componentes con diferentes punto de fusión, se pueden unir partes extremadamente delgadas y componentes simples tales como tubo a tubo, tubo a empalme, etc. La deformación de los componentes es mínima ya que el calentamiento es uniforme, no se producen esfuerzos residuales en el material, proceso aplicable a la producción masiva, ya que requiere de equipos costosos.
- **Limitaciones:** no es posible un calentamiento localizado, no aplica a producciones pequeñas ya que requiere de equipos costosos.
- **Materiales de aporte:** cobre electrolítico, cobre desoxidado, aleaciones de latón para soldadura fuerte, cobre fosforado, aleaciones de plata y aleaciones de aluminio.
- **Metales base que pueden soldarse:** acero, cobre, aleaciones con alto contenido de cobre, acero inoxidable, aleaciones de níquel y níquel.
- **Aplicaciones:** muy usado en la soldadura fuerte de cobre, aplicable en aquellos casos en juntas múltiples e inaccesibles (3-12).

## **2.2.2. Efectos del proceso de Soldadura Fuerte en el metal base y metal de aporte.**

### **2.2.2.1. Precipitación de carburos**

Este fenómeno resulta de la combinación preferencial del carbono con el cromo y es rechazado como carburo de cromo, el cual aparece en los contornos de los cristales. La precipitación del carburo de cromo ocurre cuando las aleaciones que contienen cromo se tratan a temperaturas que oscilan entre 450 a 850°C, esto trae como consecuencia la disminución de la resistencia a la corrosión de la zona afectada por el calor y puede mantenerse al mínimo aplicando al ensamble un calentamiento posterior a la operación de soldadura a una temperatura de 1000 a 1100°C, manteniendo dicha temperatura durante 2 horas y dejándola enfriar luego al aire.

### **2.2.2.2. Óxidos residuales**

Los óxidos residuales son los óxidos que pueden quedar sobre la superficie del metal base después de haberse limpiado por los procedimientos usuales, pueden reducirse tratándose de aluminio, titanio, silicio, magnesio, manganeso y berilio, mediante fundentes. Los óxidos de cromo pueden eliminarse con fundentes que contengan fluoruros.

### **2.2.2.3. Fragilización ocasionada por el hidrógeno**

La fragilización por hidrógeno se presenta al soldar metales que no han sido desoxidados completamente, durante la operación de vaciado y solidificación, en atmósferas que contengan hidrógeno. Esto se debe al hecho de que las moléculas de vapor de agua (que se forman al combinarse el oxígeno atrapado con el hidrógeno difuso) son demasiado grandes para salir a la superficie y una vez atrapado crea una presión de magnitud apreciable en el interior de la estructura del metal y la rompe, disminuyendo con ello la resistencia a la tensión. La fragilización por hidrógeno de los metales no ferrosos puede minimizarse evitando el uso de atmósferas con hidrógeno

durante la aplicación de soldadura fuerte. La de los metales ferrosos puede minimizarse calentando la masa total del metal a 300°F, y manteniéndola a dicha temperatura hasta que se haya difundido todo el hidrógeno. El tiempo de permanencia en el horno para mantener a dicha temperatura puede ser desde unas cuantas horas a unos cuantos días.

#### **2.2.2.4. Fragilización ocasionada por azufre**

La fragilización por azufre tiene lugar cuando se sueldan o se calientan en atmósferas de tipo azufroso las aleaciones de níquel y las de níquel-cobre. Se presenta como resultado de un compuesto frágil y débil, de sulfuro de níquel con bajo punto de fusión, el cual se forma en los contornos de los cristales del metal base, ocasionando su fractura. El material fragilizado por azufre no se recupera y tiene que mandarse al desperdicio.

#### **2.2.2.5. Fragilización ocasionada por el fósforo**

La fragilización ocasionada por el fósforo ocurre al combinarse el fósforo con otros metales para formar fosfuros, y puede reducirse al mínimo usando el uso de metales de aporte con cobre y fósforo y el de aleaciones formadas a base de hierro y níquel.

#### **2.2.2.6. Presión de vapor**

Es la presión generada por la vaporización de algunos elementos del metal de aporte cuando éste se calienta a temperaturas elevadas en vacío. Se debe tener cuidado al seleccionar los metales de aporte que se van a usar en soldadura fuerte para unir partes a temperaturas elevadas al vacío.

#### **2.2.2.7. Agrietamiento por esfuerzo**

Se presenta con frecuencia al unir por soldadura fuerte materiales que adquieren temple por envejecimiento, y que tienen altas temperaturas de recocido. Estas grietas

ocurren casi instantáneamente durante la aplicación de soldadura, y son visibles porque el metal de aporte tiende a fluir en las grietas.

El agrietamiento por esfuerzo puede evitarse de la manera siguiente:

- Utilizando aleaciones que hayan sido recocidas antes de ser templadas, y no aleaciones que sólo hayan sido templadas.
- Recociendo las partes que hayan sido trabajadas en frío antes de aplicar la soldadura fuerte.
- Eliminando la fuente del esfuerzo aplicado exteriormente.
- Rediseñando las partes o revisando el diseño de la junta.
- Calentando lentamente, las partes pesadas pueden calentarse tan rápidamente que dan origen al establecimiento de esfuerzos por gradiente térmicos de pendiente fuerte.
- Seleccionando un metal de aporte que tenga menos probabilidades de ocasionar este tipo de daño (4-11).

## **2.3. ALUMINIO Y SUS ALEACIONES**

El aluminio es un metal caracterizado principalmente por su bajo peso, baja densidad, alta resistencia a la corrosión, buena maleabilidad y formabilidad, alta conductividad eléctrica y térmica y algunas de sus aleaciones tienen mejor proporción resistencia-a-peso que la de los aceros de alta resistencia.

### **2.3.1. Sistema de designación de las aleaciones de aluminio**

El sistema de designación de las aleaciones de aluminio consta de cuatro dígitos: el primero indica el grupo de aleación, el segundo indica los cambios de la aleación original o límites de impureza, y los dos últimos dígitos sirven sólo para identificar las diferentes aleaciones de aluminio en el grupo.

**Tabla 1. Designación de aleaciones de Aluminio forjadas (16)**

Tipo de Aleación	Número de aleación
Aluminio de pureza igual o mayor a 99%	1XXX
Aluminio-Cobre	2XXX
Aluminio-Manganeso	3XXX
Aluminio-Silicio	4XXX
Aluminio-Magnesio	5XXX
Aluminio-Magnesio-Silicio	6XXX
Aluminio-Zinc	7XXX
Aluminio-otro elemento	8XXX
Series no utilizadas	9XXX

**Tabla 2. Designación de las aleaciones de aluminio fundidas (16)**

Designación	Elemento de aleación principal
1XX.Y	Aluminio 99%
2XX.Y	Cobre
3XX.Y	Si-Mg, Si-Cu, Si-Cu-Mg
4XX.Y	Silicio
5XX.Y	Magnesio
7XX.Y	Zinc
8XX.Y	Estaño
9XX.Y	Otros elementos
6XX.Y	No se usa

Las aleaciones de aluminio de forja se clasifican en dos grandes grupos bien diferenciados: las aleaciones endurecibles por tratamiento térmico (termotratables) y aquellas que son endurecibles por deformación (no termotratables). Las aleaciones termotratables son las que contienen uno o mas de los elementos cobre, magnesio, silicio y zinc; los cuales tienden a incrementar su solubilidad en el aluminio a medida

que aumenta la temperatura y por lo tanto endurecen por precipitación. Entre estas aleaciones se incluyen las aleaciones de las series 2XXX, 6XXX y 7XXX, aunque algunas de ellas pertenecen a la serie 4XXX y 5XXX que contienen una combinación de los elementos antes citados. Las aleaciones no termotratables incluyen las diversas calidades de aluminio puro y todas las demás aleaciones cuya resistencia obedece al endurecimiento por disolución en sólido y al trabajo en frío o endurecimiento por deformación producto de temple o recocido. Entre estas aleaciones se incluyen las de las series 1XXX, 3XXX, 4XXX y 5XXX, aunque algunas de ellas pertenecen a las series 7XXX y 8XXX.

### **2.3.2. Aleaciones de aluminio endurecibles por tratamiento térmico**

#### **2.3.2.1. Aleaciones Aluminio-Cobre (2XXX)**

El cobre, elemento que imprime carácter a este grupo de aleación, es el responsable de sus elevadas características mecánicas, las cuales alcanzan su máximo valor entre 4 y 6% de cobre y según sean los otros elementos de la aleación, el aumento de resistencia va acompañado de disminución del alargamiento y de la capacidad de conformación. Da también resistencia a temperaturas elevadas, aún sin otros aleantes, sobre todo para contenidos superiores al 5%. Sin embargo, a él se debe la baja resistencia a la corrosión por picaduras e intergranular, las cuales se acentúan cuando mayor es el porcentaje de cobre.

#### **2.3.2.2. Aleaciones de Aluminio-Silicio-Magnesio (6XXX)**

Estas aleaciones contienen silicio y magnesio en la proporción que se requiere para formar el compuesto  $Mg_2Si$ , siliciuro de magnesio, que precipita y endurece las aleaciones durante el tratamiento térmico. No son tan resistentes como las aleaciones de la serie 2XXX y 7XXX, tienen buena formabilidad, soldabilidad y resistencia a la corrosión. Se requiere que el porcentaje de magnesio no sobrepase el 1% ya que pequeños excesos de magnesio reducen fuertemente la solubilidad del siliciuro, sin embargo, es conveniente un exceso de silicio ya que éste precipita en la maduración y

aumenta la resistencia, no obstante este exceso debe ser moderado para no perjudicar la plasticidad. Las aleaciones de este grupo tienen, en general, una soldabilidad bastante buena, sin embargo no pueden emplearse como aporte porque las proporciones de magnesio y silicio que poseen les da una elevada agrietabilidad. Se utilizan en aplicaciones estructurales, marcos de bicicleta, equipos de transporte, barandas de puentes y estructuras soldadas.

### **2.3.2.3. Aleaciones Aluminio-Zinc (7XXX)**

Estas aleaciones contienen de 1 a 8% de Zinc, así como una proporción mas pequeña de magnesio, a fin de producir aleaciones con resistencia mecánica moderada o grande. El zinc por sí solo no produce un endurecimiento apreciable al aluminio, ni por bonificado ni por solución sólida, en cambio la adición de magnesio introduce constituyentes endurecedores. A medida que aumenta el contenido de zinc y magnesio aumenta la resistencia pero también aumenta la dificultad de mantenerlos disueltos en el temple que sigue al tratamiento de solubilización; también se agregan otros elementos , como cobre y cromo, en cantidades pequeñas. Estas aleaciones son de alta resistencia mecánica pero de baja resistencia al agrietamiento por corrosión con esfuerzo, y se utilizan ligeramente envejecidas para brindar mejores combinaciones de resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y tenacidad a la fractura. Se utilizan en estructuras de bastidor de avión y otras piezas sometidos a grandes esfuerzos.

### **2.3.3. Aleaciones de Aluminio endurecibles por tratamiento térmico**

#### **2.3.3.1. Aleaciones de Aluminio de pureza comercial (1XXX)**

El aluminio comercialmente puro, es adecuado para aplicaciones en las que se requiera buena formabilidad y gran resistencia a la corrosión y en las que no se necesita alta resistencia mecánica . Se ha utilizado ampliamente en utensilios para cocina, varios componentes arquitectónicos, equipos de manejo y almacenamiento de alimentos y agentes químico, así como en ensamblajes soldados.

### **2.3.3.2. Aleaciones Aluminio-Manganeso (3XXX)**

La adición de manganeso al aluminio da lugar a un aumento de características mecánicas, debido fundamentalmente al efecto endurecedor de compuestos intermetálicos como  $Al_6Mn$  y  $Al_{12}Mn_3Si$ . La solubilidad máxima del manganeso en aluminio es de 1,82%, el contenido de manganeso de las aleaciones de forja no suele sobrepasar el 1,5%, con objeto de evitar la formación de  $Al_6Mn$  eutéctico, que perjudicaría notablemente la ductilidad y la capacidad de conformación.

### **2.3.3.3. Aleaciones Aluminio-Silicio (4XXX)**

Estas aleaciones son utilizadas, con algunas excepciones, como material de aporte en soldadura por fusión o soldadura fuerte, a las que se les da por laminación o extrusión la forma más adecuada para su empleo. Se caracterizan por sus excelentes propiedades de moldeo, elevada resistencia a la corrosión, buena soldabilidad y baja densidad. El silicio aumenta la fluidez y la facilidad para utilizarlo como material de aporte. Los aportes suelen tener entre 2, 5; 7,5; 10 hasta 12% de silicio según sea el tipo de aleación a soldar o el proceso de soldeo que se utilice, los materiales de aporte que contienen entre 2 y 10% de silicio a veces contienen un pequeño porcentaje de magnesio con el objeto de hacerlas tratables térmicamente.

### **2.3.3.4. Aleaciones de Aluminio-Magnesio (5XXX)**

Estas aleaciones poseen resistencias moderadas, puede trabajarse en frío o endurecerse por deformación, el efecto endurecedor se consigue al ir aumentando el porcentaje de magnesio ya que dicho elemento tiene una acción muy marcada por formación de solución sólida. Al mismo tiempo que aumentan las características resistentes van disminuyendo la plasticidad y la aptitud para conformar en frío, luego de obtener cierto porcentaje de magnesio en la aleación, el aumento de resistencia se consigue por acritud. Son llamadas “aleaciones marinas” ya que poseen una alta resistencia a la corrosión en ambientes marinos además de buena soldabilidad, sin

embargo tienen ciertas restricciones en cuanto a la cantidad de trabajo en frío y a la temperatura de operación a fin de evitar la susceptibilidad al agrietamiento por corrosión bajo esfuerzo y a la corrosión intergranular bajo tensión. Estas aleaciones tienen usos arquitectónicos, ornamentales, en la fabricación de latas y extremos de latas, postes de alumbrado público, botes y barcos, tanques criogénicos, partes de grúa y estructura de automóvil.

#### **2.3.3.5. Aleaciones Aluminio-Otros elementos (8XXX)**

Este grupo comprende aleaciones de diversas composiciones tanto termotratables como no termotratables, ejemplo de estas aleaciones es la 8001 la cual es una aleación aluminio-níquel-hierro que se utiliza en aplicaciones relacionadas con la energía nuclear, tiene buena resistencia a la corrosión en agua a alta temperatura y alta presión y presenta algunas propiedades similares a la 3003. También podemos mencionar algunas aleaciones aluminio-hierro-manganeso y de aluminio-hierro-manganeso-zinc que se producen en forma de hoja metálica para aplicaciones como material de aleta, y la aleación 8090 que es aluminio-litio termotratable que se está estudiando para la industria aeroespacial (14-17).

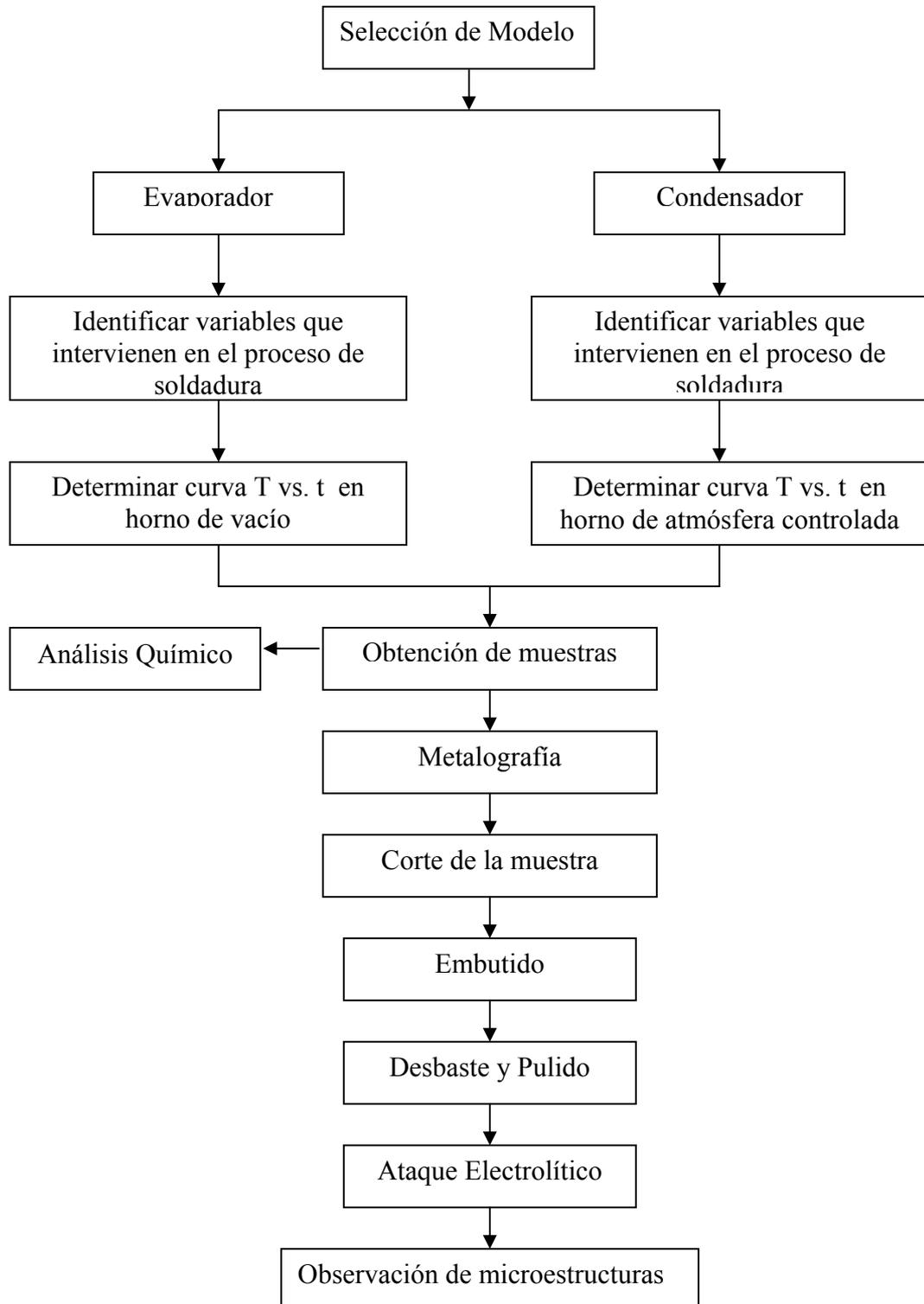
**Tabla 3. Composición de algunas aleaciones de aluminio forjadas no termotratables comerciales (19)**

Aleación	Silicio	Cobre	Man-ganoso	Mag-nesio	Cromo	Zinc	Otros	Aluminio % mín
2011	-	5.5	-	-	-	-	0.40 Bi,0.40Pb	rem
2014	0.8	4.4	0.8	0.5	-	-	-	rem
2017	0.5	4.0	0.7	0.6	-	-	-	rem
2117	-	2.6	-	0.35	-	-	-	rem
2218	-	4.0	-	1.5	-	-	20 Ni	rem
2618	0.18	2.3	-	1.6	-	-	1.1Fe, 1.0 Ni, 0.07Ti	rem
2219,2419 2024,2124	-	6.3	0.30	-	-	-	0.10 V, 0.18 Zr, 0.06Ti	rem
2224	-	4.4	0.6	1.5	-	-	-	rem
2025	0.85	4.4	0.8	-	-	-	-	rem
2036	-	2.6	0.25	0.45	-	-	-	rem
4032	12.2	0.9	-	1.0	-	-	0.9Ni	rem
6101	0.50	-	-	0.60	-	-	-	rem
6201	0.7	-	-	0.8	-	-	-	rem
6009	0.8	0.37	0.50	0.6	-	-	-	rem
6010	1.0	0.37	0.50	0.8	-	-	-	rem
6151	0.9	-	-	0.6	0.25	-	-	rem
6351	1.0	-	0.6	0.6	-	-	-	rem
6951	0.35	0.28	-	0.6	-	-	-	rem
6053	0.7	-	-	1.2	0.25	-	-	rem
6061	0.6	-	0.28	1.0	0.20	-	-	rem
6262	0.6	0.28	-	1.0	0.09	-	0.6 Bi, 0.6 Pb	rem
6063	0.4	-	-	0.7	-	-	-	rem
6066	1.3	1.0	0.8	1.1	-	-	-	rem
6070	1.3	0.28	0.7	0.8	-	-	-	rem
7001	-	2.1	-	3.0	0.26	7.4	-	rem
7005	-	-	0.45	1.4	0.13	4.5	0.14 Zr, 0.03Ti	rem
7016	-	0.8	-	1.1	-	4.5	-	rem
7021	-	-	-	1.5	-	5.5	0.13 Zr	rem
7029	-	0.7	-	1.6	-	4.7	-	rem
7049	-	1.6	-	2.4	0.16	7.7	-	rem
7050	-	2.3	-	2.2	-	6.2	0.12 Zr	rem
7150	-	2.2	-	2.4	-	6.4	0.12 Zr	rem
7075,7175	-	1.6	-	2.5	0.23	5.6	-	rem
7475	-	1.6	-	2.2	0.22	5.7	-	rem
7076	-	0.6	0.50	1.6	-	7.5	-	rem
7178	-	2.0	-	2.7	0.23	6.8	-	rem

**Tabla 4. Composición de algunas aleaciones de aluminio forjadas termotratables comerciales (19).**

Aleación	Silicio	Cobre	Manganeso	Magnesio	Cromo	Otros	Al.% mín
1199	-	-	-	-	-	-	99.99
1180	-	-	-	-	-	-	99.80
1060	-	-	-	-	-	-	99.60
1350	-	-	-	-	-	-	99.50
1145	-	-	-	-	-	-	99.45
1235	-	-	-	-	-	-	99.35
1100	-	0.12	-	-	-	-	99.00
3102	-	-	0.22	-	-	-	rem
3003	-	0.12	1.2	-	-	-	rem
3004	-	-	1.2	1.0	-	-	rem
3104	-	0.15	1.1	1.0	-	-	rem
3005	-	-	1.2	0.40	-	-	rem
3105	-	-	0.6	0.50	-	-	rem
4043	5.2	-	-	-	-	-	rem
4343	7.5	-	-	-	-	-	rem
4643	4.1	-	-	0.20	-	-	rem
4045	10.0	-	-	-	-	-	rem
4145	10.0	4.0	-	-	-	-	rem
4047	12.0	-	-	-	-	-	rem
5005	-	-	-	0.8	-	-	rem
5042	-	-	0.35	3.5	-	-	rem
5050	-	-	-	1.4	-	-	rem
5052	-	-	-	2.5	0.25	-	rem
5252	-	-	-	2.5	-	-	rem
5154	-	-	-	3.5	0.25	-	rem
5454	-	-	0.8	2.7	0.12	-	rem
5654	-	-	-	3.5	0.25	0.10Ti	rem
5056	-	-	0.12	5.0	0.12	-	rem
5456	-	-	0.8	5.1	0.12	-	rem
5457	-	-	0.30	1.0	-	-	rem
5657	-	-	-	0.8	-	-	rem
5082	-	-	-	4.5	-	-	rem
5182	-	-	0.35	4.5	-	-	rem
5083	-	-	0.7	4.4	0.15	-	rem
5086	-	-	0.46	4.0	0.15	-	rem
7072	-	-	-	-	-	1.0 Zn	rem
8001	-	-	-	-	-	0.6Fe,1.1Ni	rem
8280	1.5	1.0	-	-	-	0.45 Ni, 6.2 Sn	rem
8081	-	1.0	-	-	-	20 Sn	rem

**CAPÍTULO III**  
**PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**



**Figura 3.1 Diagrama de procedimiento experimental**

### 3.1. SELECCIÓN DEL MODELO

#### 3.1.1. EVAPORADOR

Se seleccionó el grupo de evaporadores “Single tank” ya que reportaban los índices mas altos de material rechazado, todas las colmenas de este grupo son fabricadas con la misma materia prima sólo difieren en la geometría de los platos refrigerante y por ende en las dimensiones de la colmena, esto permitió elegir el modelo de evaporador que estaba en producción al momento de ejecutar las pruebas, el modelo Fiat Palio. Para comparar las uniones de soldadura se seleccionó el modelo de colmena evaporador importado Prado ya que resultó ser la más similar a la colmena evaporador nacional seleccionado.



**Evaporador: Modelo Fiat Palio**

**Figura 3.2**



**Evaporador Importado: Modelo Prado**

**Figura 3.3**

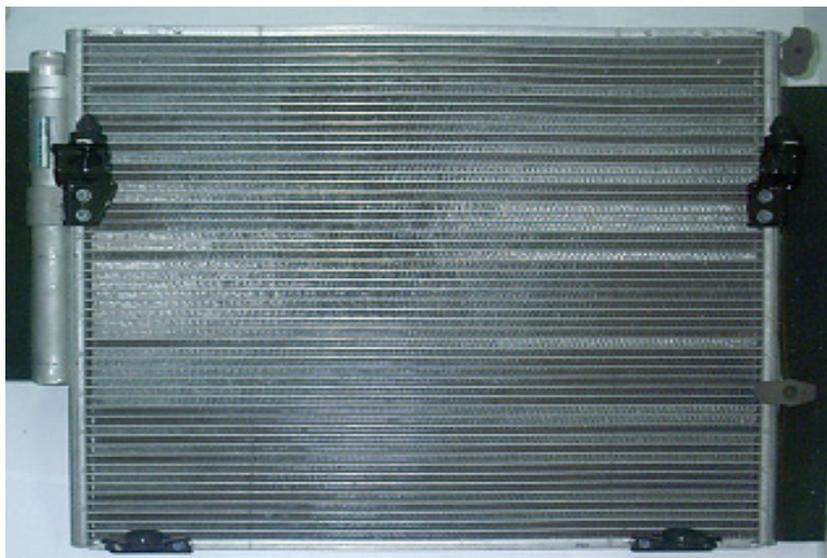
#### 3.1.2. CONDENSADOR

Se escogió el condensador modelo Renault Clio ya que cuando se iniciaron las pruebas una gran cantidad del material rechazado debido a la deformación de uno de sus componentes (placa de acople de la conexión de salida del condensador). Con respecto a la colmena condensador importada se seleccionó el modelo IMV 692N a

pesar de que es diferente a la colmena nacional seleccionada, sin embargo, las uniones de soldadura, que son el objeto de nuestro estudio, son muy similares variando sólo la forma en que preensamblan las uniones antes de ser introducidas en el horno, este factor será tomado en cuenta al comparar los resultados obtenidos.



**Figura 3.4 Condensador Modelo Renault Clío**



**Figura 3.5 Condensador Importado Modelo IMV 692N**

### 3.2. Identificación de las variables que intervienen en los procesos de soldadura

Se realizó un seguimiento del funcionamiento de los dos hornos de soldadura de Industrias FAACA, el horno de vacío Modelo BM470 Marca ABAR y el de atmósfera controlada Modelo 316/318/97-B Marca SECO WARWICK, a fin de determinar las variables que influyen en cada uno de los procesos de la soldadura y posibles fallas de procesos que influyen de manera directa en la calidad de soldadura obtenida. Es importante destacar que las muestras objeto de este estudio se tomaron en condiciones normales de producción, para verificar la calidad de las uniones de soldadura de las colmenas evaporador y condensador que son despachadas diariamente por Industrias FAACA.

En el proceso de soldadura fuerte en horno de vacío las variables son:

- Temperatura de Soldadura.
- Tiempo de soldadura.
- Tiempo de enfriamiento.

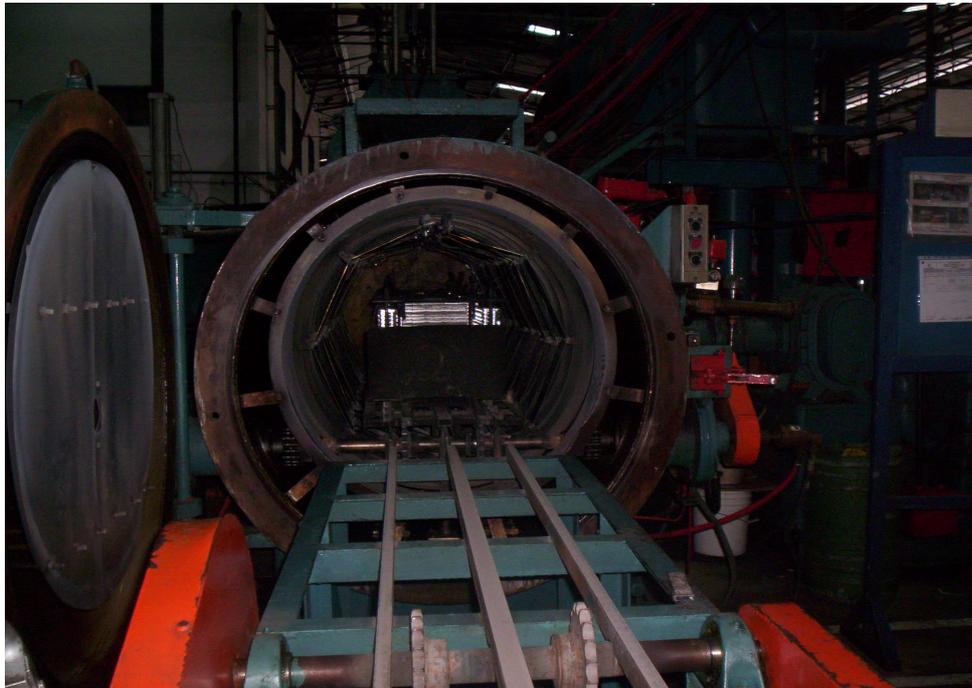
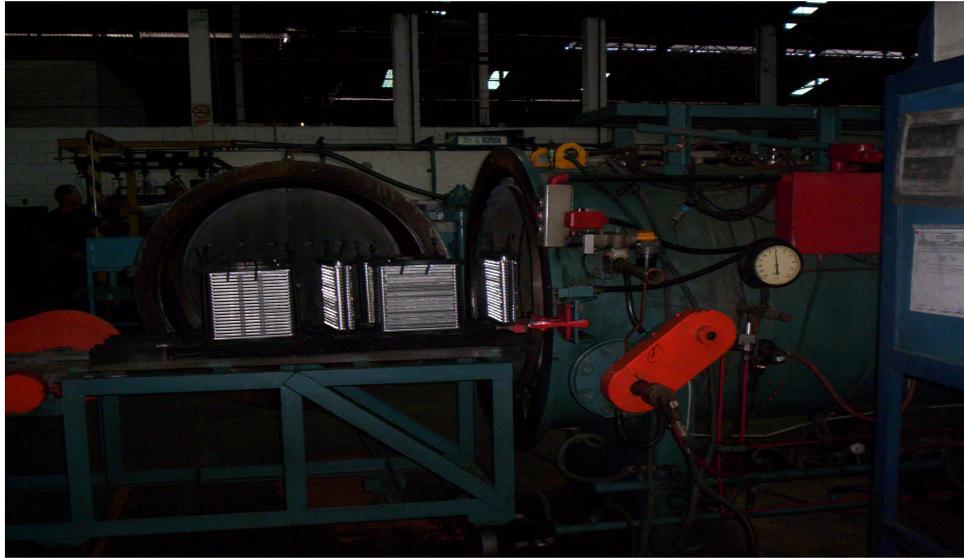
En el proceso de soldadura al vacío se realiza para fabricar los evaporadores, la temperatura y tiempo de soldadura conforman los ciclos de soldadura que están determinados para cada uno de los modelos que se fabrican, sin embargo, se presenta una variación del parámetro tiempo de enfriamiento, el cual se refiere a el tiempo que debe permanecer la colmena en la cámara de enfriamiento, contigua a la cámara de soldadura, para evitar el choque térmico al que se sometería la pieza si es sacada de la cámara de soldadura, a 590°C, al exterior, a 35°C. Dependiendo de la demanda de producción del día este tiempo de enfriamiento varía de 1 a 3 minutos, cuando la demanda es alta el tiempo de enfriamiento es de un minuto o menos, inmediatamente se saca y es sumergida casi inmediatamente en los tanques de prueba de fuga para cumplir con la orden de producción diaria, y si la demanda es baja este tiempo aumenta a 3 minutos y permanece mas tiempo enfriándose antes de ser sometida a la prueba de fuga.

En el proceso de soldadura fuerte en horno de atmósfera controlada las variables son:

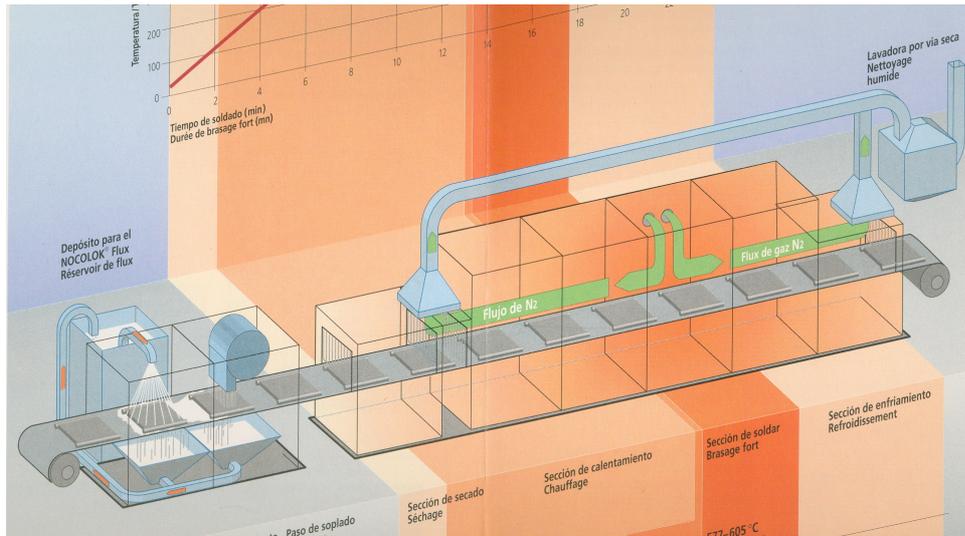
- Temperatura de soldadura.

- Velocidad de la cadena del horno.

En el proceso de soldadura fuerte en atmósfera controlada para fabricar condensadores, la temperatura de soldadura y la velocidad de la cadena están estandarizados para cada uno de los modelos fabricados en esta planta, cabe destacar que la velocidad de la cadena va a determinar el tiempo de permanencia de la colmena dentro de cada una de las cámaras del horno. Sin embargo los operadores del horno hacen uso de la parada de emergencia por múltiples razones y como resultado las piezas permanecen diferentes tiempos dentro del horno, restándole uniformidad al proceso.



**Figura 3.6 Horno de Vacío**



**Figura 3.7 Esquema del horno de atmósfera controlada**

### 3.3. Determinación de las curvas Temperatura Vs. Tiempo

Las curvas temperatura vs. tiempo fueron obtenidas con un equipo modelo Datapaq, el cual es un efectivo sistema de medición de temperaturas dentro de hornos de soldadura durante su operación normal, al equipo se le conectan cinco termopares tipo k, las cuales se conectaron en cinco puntos de la geometría de las colmenas, tanto del condensador como del evaporador. El equipo es colocado dentro de una caja que lo protege de los efectos de las altas temperaturas, para que no se vea afectado el proceso de medición.



**Figura 3.8 Datapaq**

### 3.4. Obtención de las muestras

#### 3.4.1. Evaporadores

Se seleccionaron dos colmenas evaporadores fabricadas en Industrias FAACA, y una colmena importada, las dos colmenas nacionales se fabricaron en condiciones normales de producción variando sólo el tiempo de enfriamiento y una colmena evaporador importada.

**Tabla N° 5. Parámetros de soldadura fuerte en horno de vacío.**

Muestra	Temp. Precalentamiento (°C)	Tiempo Precalentamiento (min.)	Temp. Soldadura (°C)			Tiempo Soldadura (minutos)	Tiempo enfriamiento
			565	593	580		
Muestra 1	394	28	565	593	580	26,5	1 min.
Muestra 2	394	28	565	593	580	26,5	3 min.

#### 3.4.2. Condensadores

Se seleccionaron dos colmenas condensadores en condiciones normales de producción, en este caso se introdujo una variable externa al horno y fue la parada de la cadena durante el proceso de secado de la colmena.

**Tabla N° 6. Parámetros de Soldadura fuerte en horno de atmósfera controlada.**

Muestra	Temp. Sec (°C)	Temp. 1 (°C)	Temp. 2 (°C)	Temp. 3 (°C)	Temp. 4 (°C)	Temp. 5 (°C)	Vel. Cad. (mm/min)
Muestra 1	180	460	540	580	605	612	460
Muestra 2	180	460	540	580	605	612	460

### 3.4.3 Análisis químico

Debido a que Industrias FAACA no posee la licencia del fabricante para obtener las aleaciones que se utilizaron como materia prima, para la fabricación de las colmenas importadas, fue necesario realizar un análisis químico por absorción atómica mediante el equipo ANALIST 300 de la casa PERKIN ELMER, en donde se empleó una lámpara de cátodo hueco de cada elemento a determinar. Estos ensayos se efectuaron en el Laboratorio Químico Instrumental de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de los Materiales de la UCV.

### 3.5. Metalografía

La metalografía se hizo con la finalidad de hacer un análisis visual y microscópico de las características de las uniones soldadas, el cordón de soldadura y metal base, estudiar la estructura interna de las aleaciones y su relación con las propiedades mecánicas del cordón de soldadura. Este estudio comprende la realización de los siguientes procesos:

#### 3.5.1. Corte

Se realizaron cortes transversales y longitudinales a las colmenas para extraer las uniones objeto de estudio mediante una cortadora de disco abrasivo BUEHLER, modelo abrasimet 2.

##### 3.5.1.1. Evaporadores

**Tabla N° 7. Materia prima de los componentes del evaporador.**

<b>Componente</b>	<b>Metal base</b>	<b>Metal de aporte</b>
Plato	3005	4047
Aleta	3003	—
Conector	3005	4047



Figura 3.9 Vista Frontal Colmena Evaporador

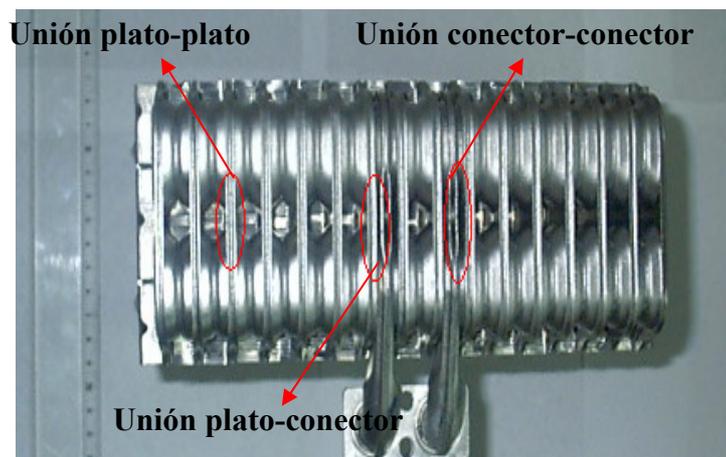
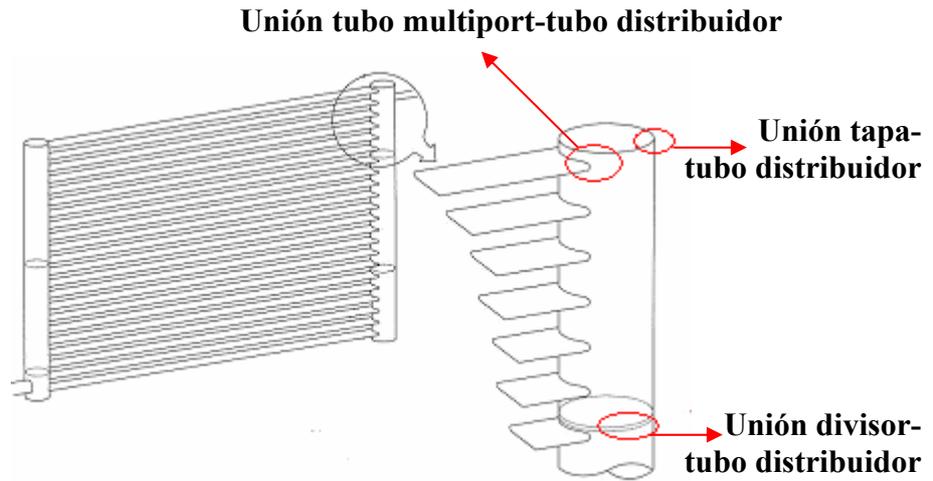


Figura 3.10 Vista lateral de Colmena Evaporador

### 3.5.1.2. Condensadores

Tabla N° 8. Materia prima de los componentes del condensador

Componente	Metal Base	Metal de aporte
Aleta	3003	-----
Tubo Multiport	1050	
Divisor	3003	4343
Tapa	3003	4045
Distribuidor	3003	4045



**Figura 3.11 Esquema de Colmena Condensador**



**Figura 3.12 Vista frontal de Colmena Condensador**

### **3.5.2. Embutido**

Para la manipulación adecuada de las muestras y para evitar daños por deformación mecánica o calor, las muestras fueron embutidas con resina termoendurecible en un montaje por compresión, en una embutidora Marca BUEHLER

serial N° 608-FN-7507 ubicada en el Laboratorio de Fotomicrografía de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de los Materiales de la UCV.



**Figura 3.13 Embutidora Marca BUEHLER**

### **3.5.3. Desbaste y Pulido**

El desbaste consistió en una abrasión de la superficie a través de una serie de papeles abrasivos de SiC: 320, 400, 600, 1200, 2000 y 4000, luego se efectuó el pulido empleando una suspensión de alúmina de 0,3 y 0,5  $\mu\text{m}$  en paño de terciopelo rojo verde y rojo, con el objeto de alcanzar una superficie especular para la evaluación posterior. El desbaste y pulido de las probetas fue realizado en un equipo de pulido semiautomático marca METASERV 2000, a 240 r.p.m. ubicado en el Laboratorio de Fotomicrografía de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de los Materiales de la UCV.



**Figura 3.14 Pulidora semiautomática METALSERV 2000**

#### **3.5.4. Ataque Electrolítico**

En el ataque electrolítico se le aplicó a la muestra un potencial eléctrico de 22 voltios durante 10 segundos usando un circuito externo. La celda electrolítica consistió de una muestra (ánodo) y una barra pequeña de acero inoxidable (cátodo) sumergidos en ácido fluorhídrico al 2% (electrolito).

#### **3.5.5. Observación de microestructuras**

La observación de las microestructuras se realizó en microscopio óptico marca OLYMPUS modelo BX60, el cual se conectó a una cámara marca OLYMPUS modelo DP12 para tomar las fotomicrografías, ambos equipos se encuentran ubicados en el Laboratorio de Fotomicrografía de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de los Materiales de la UCV.

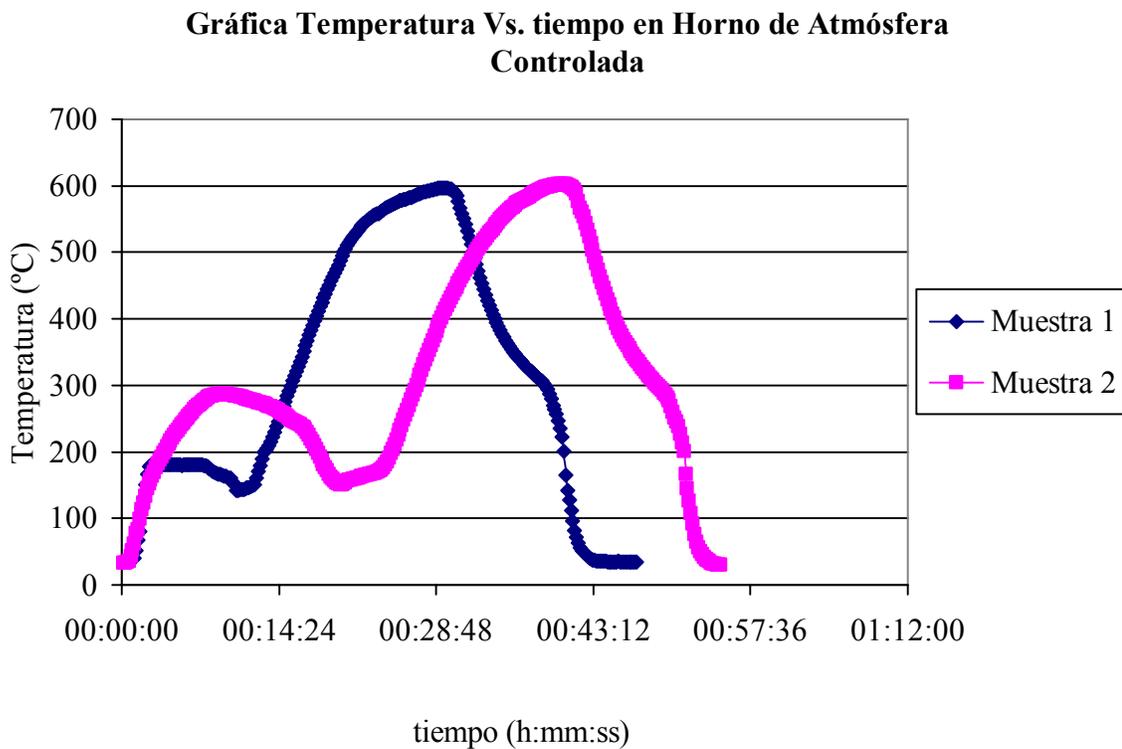


**Figura 3.15 Microscopio Óptico y Cámara marca OLYMPUS**

## CAPITULO IV

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

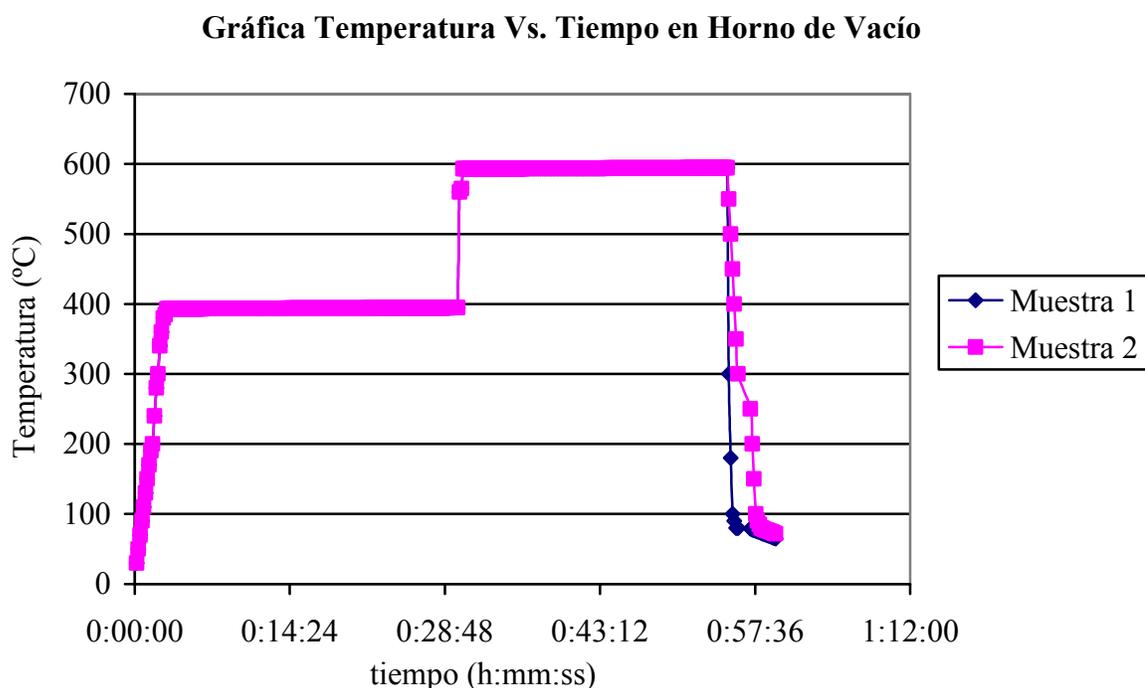
#### 4.1. Determinación de curvas temperatura vs. Tiempo en horno de vacío y horno de atmósfera controlada



**Figura 4.1 Gráfica Temperatura Vs. Tiempo obtenida con el DATAPAQ en el horno de atmósfera controlada**

La figura 4.1 muestra el tiempo y las temperaturas a las que fueron sometidos los condensadores objetos de este estudio durante el proceso de soldadura en el horno de atmósfera controlada. El primer pico de cada una de las curvas corresponde al proceso de secado, el cual según las condiciones de proceso establecidas por el Dpto de Ingeniería de Industrias FAACA, este proceso debería realizarse a 180°C (Muestra 1). Sin embargo, al sacar otro lote de producción esta temperatura aumenta hasta 300°C (Muestra 2), producto

del sistema automático de calentamiento del horno, y debido al mal estado de los medidores de temperatura, los operadores del horno no se percatan de este incremento. Por otro lado se evidencia la parada de la cadena al pasar la muestra 2 por el horno de secado, esto trajo como consecuencia otra variación de la condición de fabricación, ya que la muestra 1 permaneció doce minutos a 180°C y la muestra 2 permaneció veinticuatro minutos a 300°C. Esto trae como consecuencia piezas con distintos defectos ya que no son fabricadas con las mismas condiciones de proceso.



**Figura 4.2 Gráfica Temperatura Vs. Tiempo obtenida con el DATAPAQ en el horno de vacío**

La figura 4.2 corresponde al tiempo que permanecen y la temperatura a la que son sometidas las colmenas evaporador durante el proceso de soldadura en el horno de vacío. Se puede observar como el enfriamiento posterior al proceso de soldadura es un enfriamiento violento en el cual las colmenas pasan de 600°C a 100°C en un minuto (Muestra 1) o en tres minutos (Muestra 2), esto varía de acuerdo a la demanda de producción que exista al

momento de soldar las colmenas. Este enfriamiento violento trae como consecuencia fragilización tanto del metal base como del cordón de soldadura.

## 4.2. Microestructuras de las zonas de soldadura en evaporadores nacionales

### 4.2.1. Unión aleta-plato

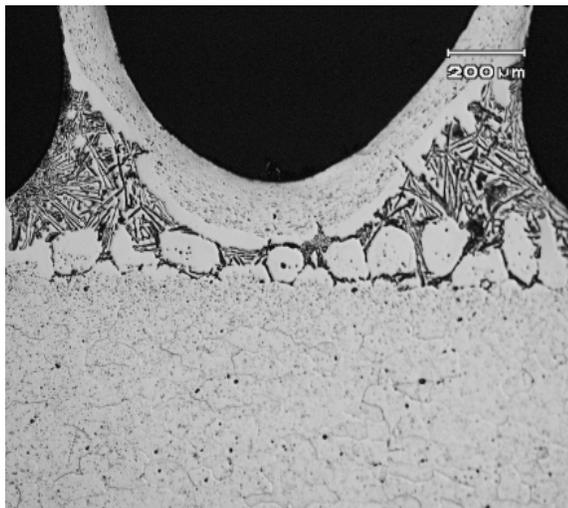


Figura 4.3 Micrografía de la unión aleta-plato Muestra 1. Aumento 100X

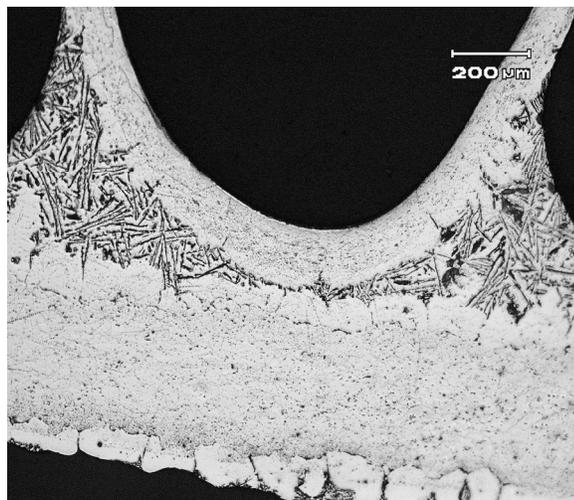
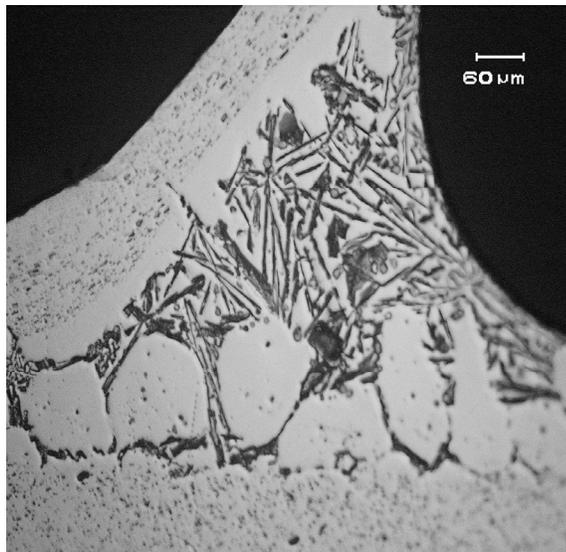
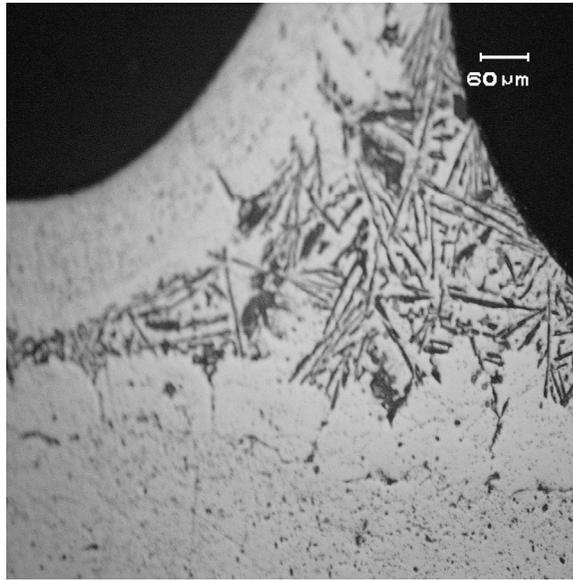


Figura 4.4 Micrografía de la unión aleta-plato Muestra 2. Aumento 100X

Las figuras 4.3 y 4.4 corresponden a la microestructura de la unión soldada aleta-plato de las muestras 1 y 2 respectivamente, se observa que el cordón de soldadura consiste de una estructura dendrítica acicular en solución sólida de aluminio con matriz eutéctica de la aleación Aluminio-Silicio (18), lo que confirma que a la temperatura que se está realizando la soldadura se garantiza la fusión del metal de aporte para lograr la unión entre ambos ensambles a soldar. También se observa en ambas figuras la presencia de una delgada capa (granos blancos) entre el cordón de soldadura y el metal base que pudiera ser óxidos residuales que poseen los ensambles a unir y que no se está disolviendo durante el proceso de soldadura (13). Es importante destacar que en el proceso de soldadura fuerte al vacío, a diferencia del proceso de soldadura fuerte de atmósfera controlada, no se utiliza fundente, por esto es más difícil disolver esta capa de óxido ya que se requiere de una atmósfera perfectamente limpia y libre de oxígeno. Cuando se verificó en planta el estado del horno fué confirmado por el Dpto de Mantenimiento de Industrias FAACA una pérdida de presión de vacío en el horno por falta de mantenimiento permanente a dicho horno, esto genera presencia de oxígeno dentro del horno que al contrario de disolver esta capa de óxido de aluminio facilita su formación.



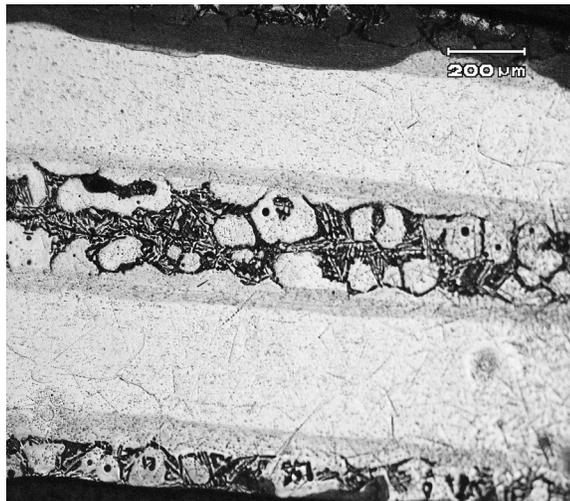
**Figura 4.5 Micrografía de la unión aleta-plato Muestra 1. Aumento 200X**



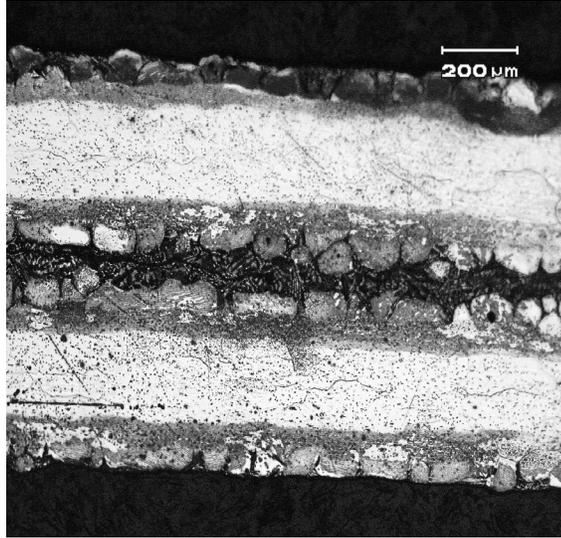
**Figura 4.6 Micrografía de la unión aleta-plato Muestra 2. Aumento 200X**

Las figuras 4.5 y 4.6 corresponden a las mismas uniones de las figuras 4.3 y 4.4 pero registradas a mayor aumento, a fin de detallar la morfología de esta capa que rodea al metal base, se puede observar que esta capa es diferente en las dos muestra, en la muestra 2 es mucho más compacta que en la muestra 1 y que en esta última se presenta como fragmentada, esto se debe a la que el enfriamiento fue más violento para la muestra 1 que para la 2.

#### **4.2.2. Soldadura Plato-Plato**

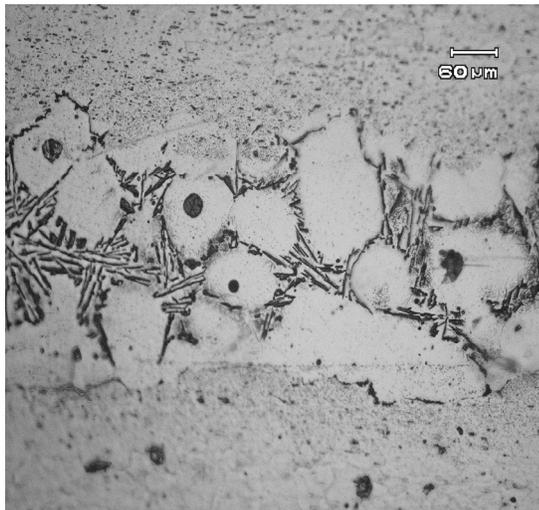


**Figura 4.7 Micrografía Unión entre platos refrigerantes Muestra 1. Aumento 100X**

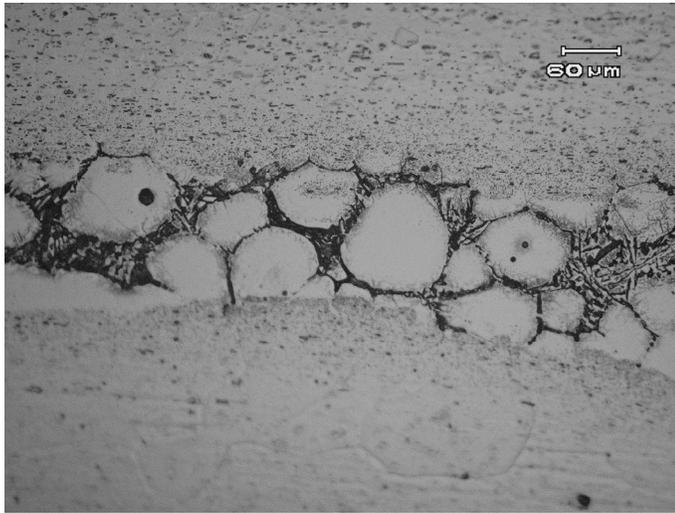


**Figura 4.8 Micrografía Unión entre platos refrigerantes Muestra 2. Aumento 100X**

Las figuras 4.7 y 4.8 muestran la microestructura de la unión entre platos refrigerantes de la muestra 1 y 2 respectivamente, en ellas se observa la misma capa de óxido entre el metal base y el cordón de soldadura y se repite la condición de ligeramente más compacta para la muestra 2 y fragmentada para la muestra 1.



**Figura 4.9 Micrografía Unión entre platos refrigerantes Muestra 1. Aumento 200X**

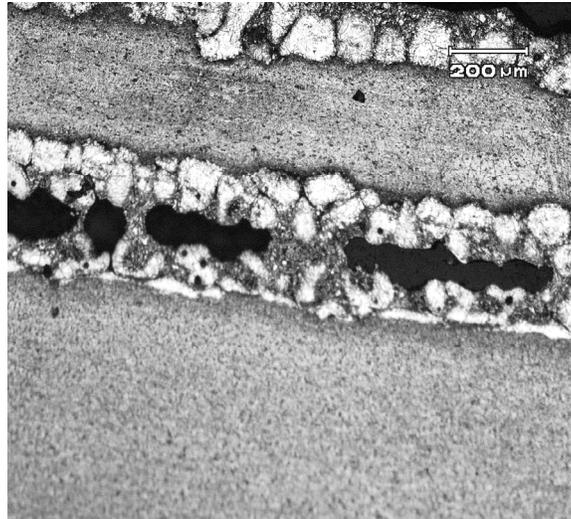


**Figura 4.10 Micrografía unión entre platos refrigerantes (Zona Central)**

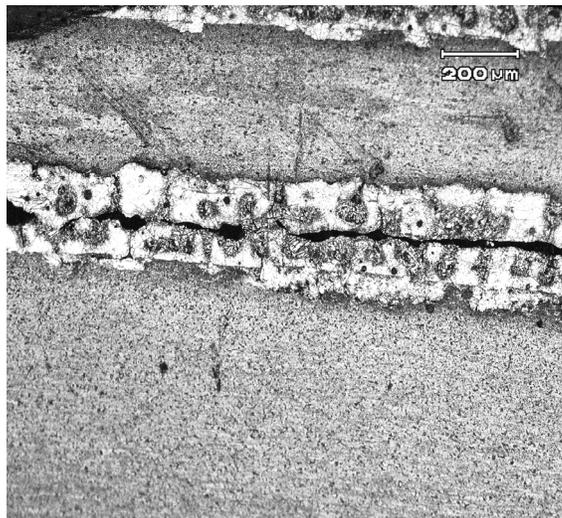
**Muestra 2. Aumento 200X**

Las figuras 4.9 y 4.10 corresponden a las mismas micrografías de las figuras 4.7 y 4.8 pero registradas a mayor aumento, en la figura 4.9 se observa que los granos de óxido intentan penetrar en el metal base impidiendo al metal de aporte el contacto con el metal base. En la figura 4.10 se observan los granos de óxido en todo el cordón de soldadura. Los puntos negros que se observan en ambas figuras pudieran corresponder a partículas de silicio que contienen tanto el metal de aporte como el metal base. (18). Analizando ambas figuras, se podría decir que la unión ocurre entre el metal de aporte y la capa de óxido y por esto el cordón de soldadura no posee la resistencia necesaria para soportar la presión aplicada en la prueba de fuga, sin embargo existen algunos puntos en donde el metal de aporte sí penetra hasta el metal base, en la medida en que exista mayor penetración entre éstos, el cordón de soldadura tendrá mayor resistencia mecánica. El metal de aporte y el metal base son aleaciones de aluminio y por lo tanto son maleables, pero la capa de óxido es rígida y muy frágil y cuando se le aplica a la colmena presión de aire el cordón de soldadura falla ocasionando la explosión de la colmena.

### 4.2.3. Soldadura Plato-Conector



**Figura 4.11 Micrografía Unión Plato-Conector Muestra 1. Aumento 100X**

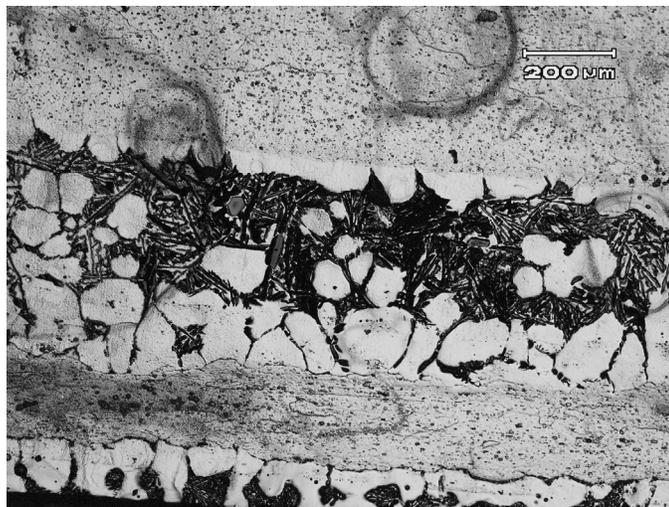


**Figura 4.12 Micrografía Unión Plato-Conector Muestra 2. Aumento 100X**

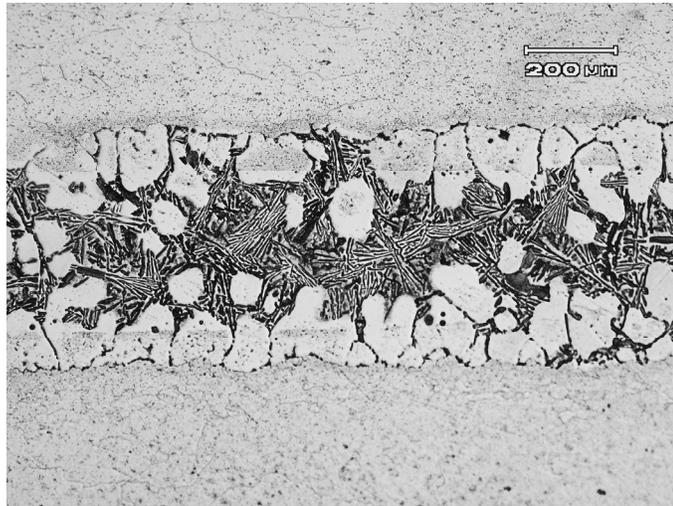
En las figuras 4.11 y 4.12 se observan las microestructuras de la unión soldada entre el plato refrigerante y el conector, en ambas figuras los cordones de soldadura poseen grietas, en la figura 4.11 la grieta es mucho más pronunciada lo cual permite inferir que entre estas dos superficies hubo poco contacto durante el proceso de soldadura, en la figura 4.12 la grieta es más estrecha. Es importante mencionar que ambas muestras presentaron

fuga por los conectores al aplicarseles la prueba de fuga luego del proceso de soldadura. Cuando se hizo seguimiento del proceso de preensambaje de este modelo de evaporador en planta se encontró que la máquina donde se preensamblan los conjuntos plato-conector se encontraba en mal estado y por lo tanto no aplicaba la presión especificada. El hecho que en la muestra 1 la grieta es más abierta que en la muestra 2 obedece al diseño de los conectores a los que se les colocó una pestaña, a fin de que en el preensamblaje se le aplicara presión para cerrar las pestanas y así ambos ensambles no se separen en las operaciones por las que pasan antes de ser soldadas, por lo tanto en las secciones cercanas a la pestaña hay mejor contacto que en las zonas alejadas a ésta.

#### 4.2.4. Soldadura Conector-Conector



**Figura 4.13 Micrografía Unión Conector-Conector Muestra 1  
Aumento 100X**

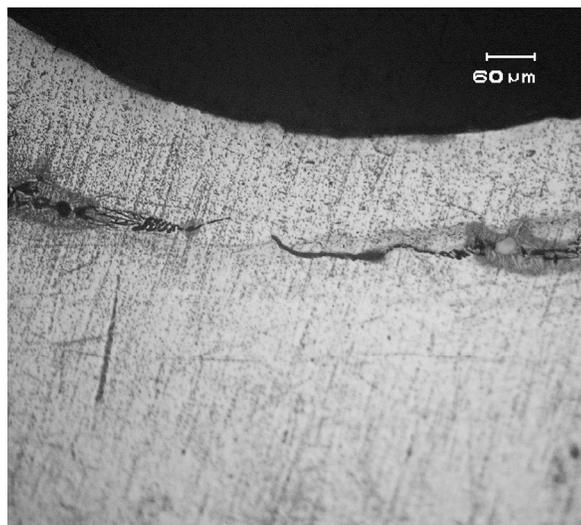


**Figura 4.14 Micrografía Unión Conector-Conector Muestra 2  
Aumento 100X**

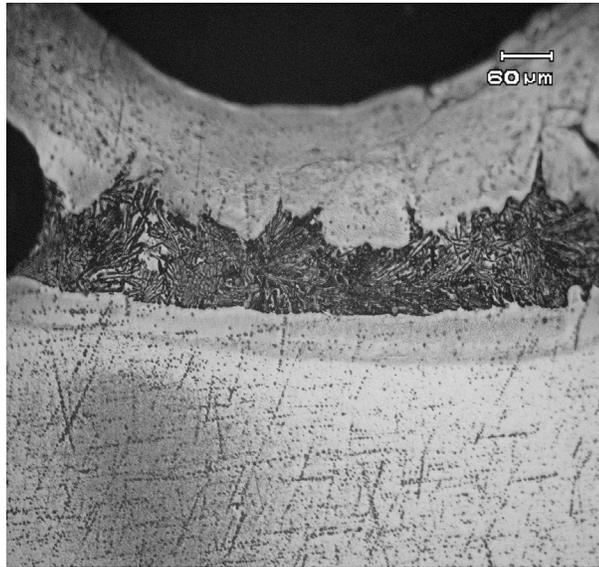
Las figuras 4.13 y 4.14 muestran las microestructuras correspondientes a la unión conector-conector en donde se observa la misma capa de óxido de las uniones anteriores, un poco mas disuelta y menos compacta en ambas uniones, el cordón posee la misma microestructura dendrítica de las otras uniones.

### **4.3. Microestructuras de las zonas de soldadura en condensadores nacionales**

#### **4.3.1 Unión aleta-multiport**



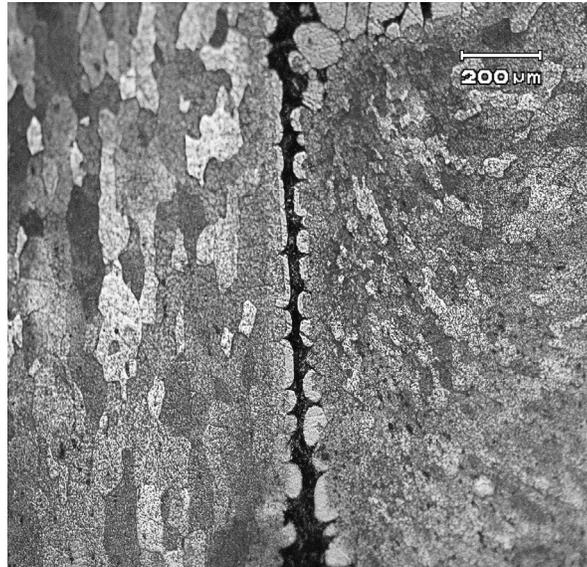
**Figura 4.15 Micrografía Unión aleta-tubo multiport Muestra 1. Aumento 200X**



**Figura 4.16 Micrografía Unión aleta-tubo multiport Muestra 2. Aumento 200X**

Las figuras 4.15 y 4.16 corresponden a la unión aleta-multiport de los condensadores objeto de este estudio, en ambas muestras se observa que no existe ninguna capa de óxido obstaculizando la unión entre el metal base y el aporte, a diferencia de las colmenas soldadas al vacío que presentaban esta capa en todas las uniones analizadas. Esto se debe a que en el proceso de soldadura fuerte de atmósfera controlada se utiliza un fundente cuya función principal es disolver la capa de óxido que se encuentra en la superficie de los ensambles de aluminio y por lo tanto se logra un cordón de soldadura uniforme. También se observa que en la muestra 1 existe contacto metal base- metal base, esto permite afirmar que se fusionaron ambos ensambles producto de que se le aplicó a la colmena una presión adecuada en los procesos de preensamblaje previos a la soldadura.

### 4.3.2. Unión tapa-tubo distribuidor

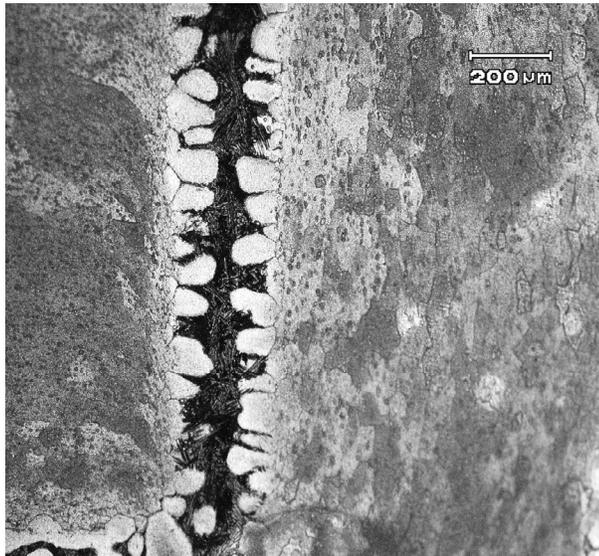


**Figura 4.17 Micrografía Unión tapa-tubo distribuidor Muestra 1. Aumento 100X**

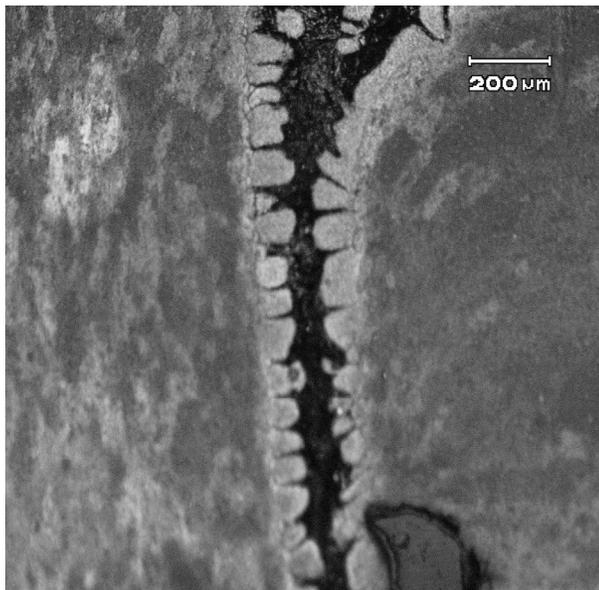


**Figura 4.18 Micrografía Unión tapa-tubo distribuidor Muestra 2. Aumento 100X**

### 4.3.3 Unión divisor-tubo distribuidor



**Figura 4.19 Micrografía Unión divisor-tubo distribuidor Muestra 1. Aumento 100X**

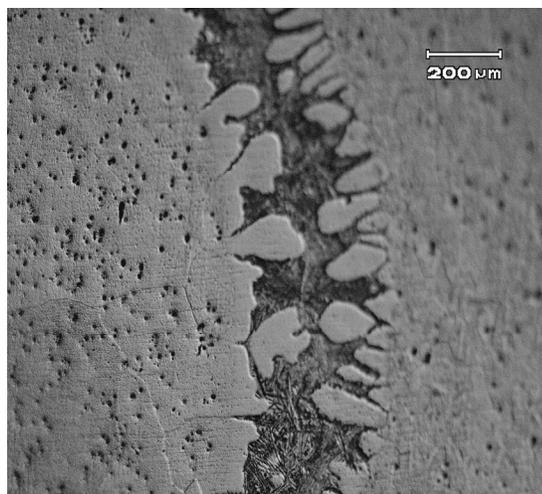


**Figura 4.20 Micrografía Unión divisor-tubo distribuidor Muestra 2. Aumento 100X**

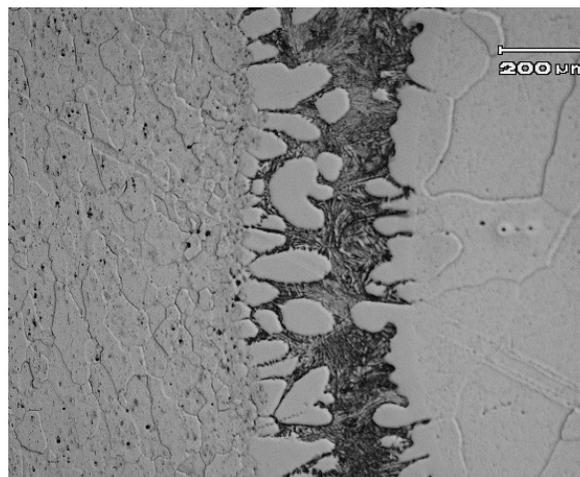
En las figuras 4.17 y 4.18 se muestran las microestructuras de las uniones tapa-tubo distribuidor en donde se evidencia como afectó el exceso de tiempo y temperatura durante el proceso de secado, se observa crecimiento de los granos en la muestra 2 lo que genera un aumento de la ductilidad en el material y posible deformación por calor.

En las figuras 4.19 y 4.20 se observa una delgada capa blanca, posiblemente óxido de aluminio que no fue disuelto durante el proceso, esto es factible ya que la unión divisor-tubo distribuidor es una unión interna del condensador y el fundente que le es rociado a la colmena no penetra hasta esta unión, y por esto a pesar de soldar en una atmósfera reductora la capa de óxido si no es disuelta permanece en las superficies de los ensambles impidiendo el contacto entre éstas.

#### 4.3.4. Unión tubo multiport-tubo distribuidor



**Figura 4.21. Micrografía Unión tubo multiport-tubo distribuidor Muestra 1.  
Aumento 100X**



**Figura 4.22. Micrografía Unión tubo multiport-tubo distribuidor Muestra 2.  
Aumento 100X**

En la figura 4.22, unión tubo multiport-tubo distribuidor, se observa la misma tendencia de crecimiento distorsionado de los granos producto de la variación de las condiciones de proceso de secado a diferencia de la figura 4.21 que posee una microestructura de grano fino. Esta unión es interna al condensador por lo tanto no hay fundente que disuelva la capa de óxido que se observa en ambas figuras. Es importante destacar que el tubo multiport además de ser muy delgado es hueco con algunas divisiones internas y por lo tanto cualquier exceso de temperatura puede generar cambios en sus propiedades mecánicas y por esto es susceptible a fallar al aplicarle la presión indicada de las pruebas de fuga. En ambas figuras se observan pequeñas partículas negras que pueden corresponder a partículas de silicio presentes en el metal base (18).

#### **4.4. Colmenas importadas**

##### **4.4.1 Análisis Químico**

Debido a la ausencia de información sobre la materia prima y proceso de fabricación de las colmenas importadas, fue necesario realizar análisis químico de los componentes más importantes que conforman dichas colmenas. Ya que el metal de aporte debe ser colocado previamente al proceso de soldadura, las cintas de aluminio usadas para la fabricación de estos componentes se encuentran cubiertas con una fina capa de metal de aporte por ambas caras, esto dificultó la identificación de las aleaciones que se utilizaron como metal base y como metal de aporte. Sin embargo, para la fabricación de las aletas no se recubre el metal base con metal de aporte, ya que ellas sueldan con los platos refrigerantes (evaporador) y el tubo multiport (condensadores) y éstos tienen suficiente material de aporte para lograr la unión, es por esto que el análisis químico aportó información del tipo de aleación con el que fueron fabricadas. Además se confirma que las colmenas importadas, al igual que las nacionales son fabricadas con aleaciones de aluminio con elementos aleantes e impurezas en las proporciones indicadas.

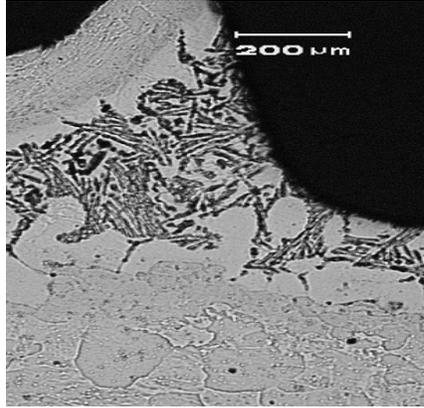
**Tabla 9. Composición Química de los componentes de las colmenas evaporador y condensador importados.**

Componente	% Mn	%Fe	% Cu	% Mg	% Zn	% Cr
Aleta (Condensador)	0.81	0.18	0.08	0.008	2.62	0.006
Multiport (Condensador)	0.15	0.16	0.35	0.005	0.60	0.004
TuboDistribuidor (Condensador)	0.90	0.17	0.38	0.006	0.07	0.007
Aleta (Evaporador)	1.06	0.16	0.10	0.04	0.09	0.048
Plato refrigerante (Evaporador)	0.51	0.18	0.17	0.13	0.007	0.005
Conector (Evaporador)	0.73	0.63	0.11	0.07	0.008	0.010

Al comparar la composición química de los componentes de las colmenas importadas con la composición química de las aleaciones utilizadas para la fabricación de las colmenas importadas; los aspectos mas resaltantes son: la aleación utilizada para la fabricación de la aleta de la colmena condensador importada tiene un porcentaje de zinc de 2.62 lo que permite afirmar que fue fabricada con aleación de aluminio-zinc (7000), mientras que la nacional es fabricada con la aleación de aluminio 1050, la cual no posee Zinc. La aleta de la colmena evaporador importada contiene 1.06% de Mn, por lo tanto fue fabricada con una aleación aluminio-manganeso (3000) igual que la aleta de la colmena evaporador nacional, en este aspecto no hay diferencia entre las colmenas nacionales e importadas.

## 4.4.2. Microestructuras de las zonas de soldadura en evaporador importado

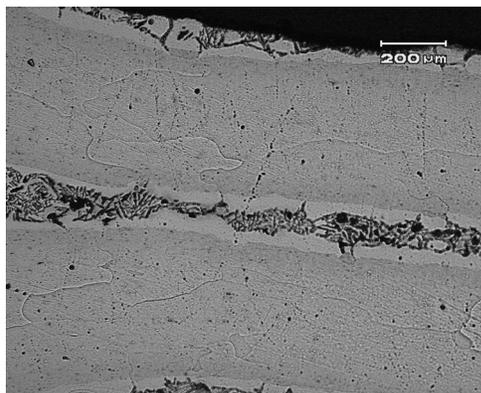
### 4.4.2.1. Unión aleta-plato



**Figura 4.23 Micrografía Unión aleta-plato. Aumento 100X**

La figura 4.23 muestra la microestructura de la unión aleta-plato. El cordón de soldadura, al igual que en las colmenas nacionales, presenta una estructura dendrítica acicular característica de las aleaciones de aluminio-silicio que alcanzan el punto eutéctico. Pero esta vez en el cordón de soldadura no se observa esa capa compacta, zona mas clara entre el cordón de soldadura y el metal base, que se observa en las micrografías de las uniones de soldadura de las colmenas nacionales. En este caso se observa que los granos son pequeños y están presentes en el centro del cordón, no sólo entre el metal de aporte y el metal base.

### 4.4.2.2. Unión plato-plato

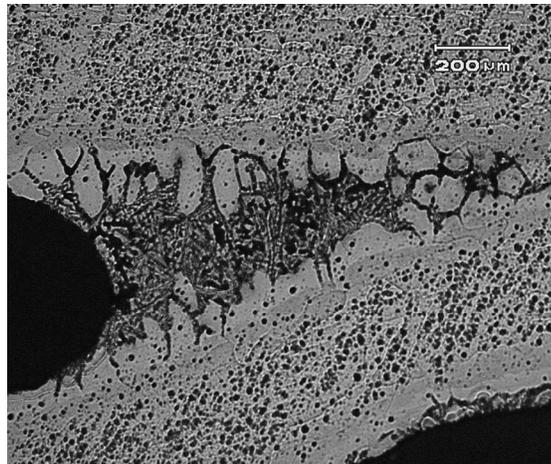


**Figura 4.24 Micrografía Unión plato-plato interna. Aumento 100X**

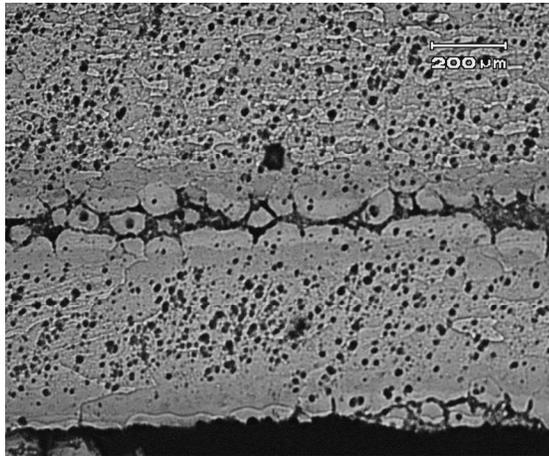


**Figura 4.25 Micrografía Unión plato-plato interna. Aumento 200X.**

En las figuras 4.24 y 4.25 se observa la microestructura de la unión plato-plato interna revelada a 100 y 200x respectivamente. Esta presenta la misma estructura dendrítica observada en todos los cordones de soldadura, en este caso es más angosto que el cordón de soldadura de las colmenas nacionales, lo cual significa que a estas colmenas se le aplica una presión mayor al preensamblarlas y por esto en el momento en que el material de aporte funde se ve obligado a diseminarse a lo largo de toda la junta para lograr la unión perfecta entre los dos componentes.



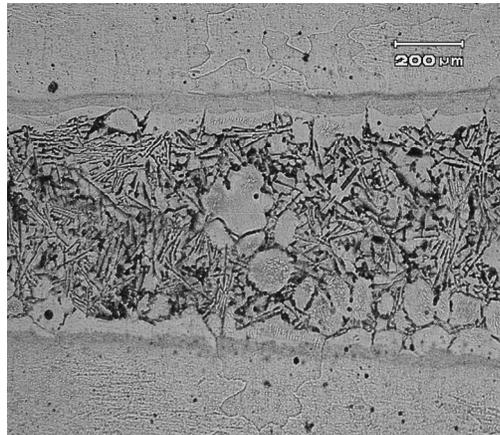
**Figura 4.26 Micrografía Unión plato-plato externa. Aumento 100X**



**Figura 4.27 Micrografía Unión plato-plato externa. Aumento 100X**

Las figuras 4.26 y 4.27 muestran la microestructura de la unión de soldadura plato-plato, es importante resaltar que esta es una unión que no es interna y por lo tanto es una zona que está expuesta tanto al fluido refrigerante que circula por el interior de la colmena como al ambiente exterior y por lo tanto se requiere de una aleación con alta resistencia a la corrosión, en ambas figura se observan pequeñas partículas globulares (puntos negros) distribuidas en el seno de la matriz las cuales podrían corresponder a compuestos intermetálicos de Silicio, cobre, hierro (16 y 20). Al verificar en los planos las especificaciones de la colmena evaporador, se encontró que a la colmena se le aplica un tratamiento superficial microbiano, que consiste en introducir partículas (probablemente por aspersion) a la aleación que se van a alojar en distintos puntos de la matriz reduciendo las zonas susceptibles a corrosión y así aumentar el tiempo de vida útil de la colmena.

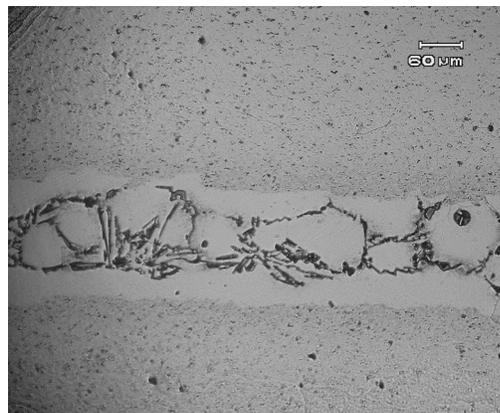
#### 4.4.2.3. Unión plato-conector



**Figura 4.28 Micrografía Unión plato-conector. Aumento 100X**

En la figura 4.28 se observa la microestructura de la unión plato-conector, se observa que se logró la unión entre ambos componentes. El cordón de soldadura posee la estructura dendrítica característica de las aleaciones de aluminio que alcanzan el punto eutéctico y que existen pequeños granos posiblemente de óxido de aluminio, pero estos se encuentran aislados y distribuidos en el cordón de soldadura, estas evidencias permiten afirmar que la capa de óxido de aluminio fue disuelta y se logró la unión entre estos dos componentes.

#### 4.4.2.4. Unión conector-conector

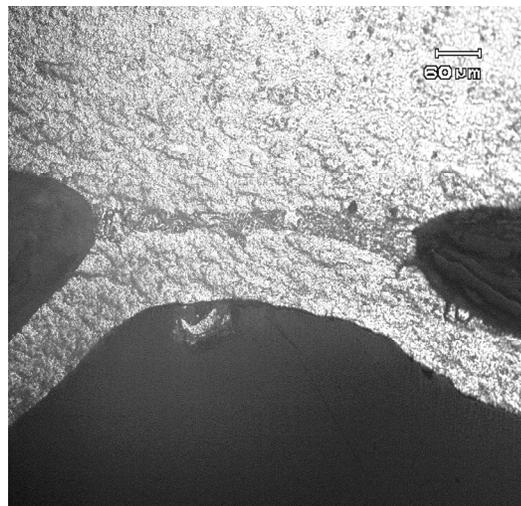


**Figura 4.29 Micrografía Unión conector-conector. Aumento 200X.**

En la figura 4.29 se observa que el cordón de soldadura de la unión conector-conector es más delgado que el cordón de soldadura de esta misma unión en colmena evaporador nacional y para poder apreciar la microestructura del cordón la imagen se magnificó a 200X.

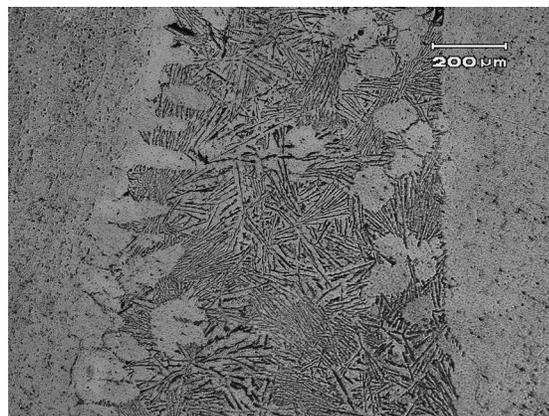
#### 4.4.3. Microestructura de zonas de soldadura en condensadores importados

##### 4.4.3.1. Unión aleta-multiport



**Figura 4.30 Micrografía Unión Aleta-Multiport. Aumento 200X**

##### 4.4.3.2. Unión tapa-tubo distribuidor



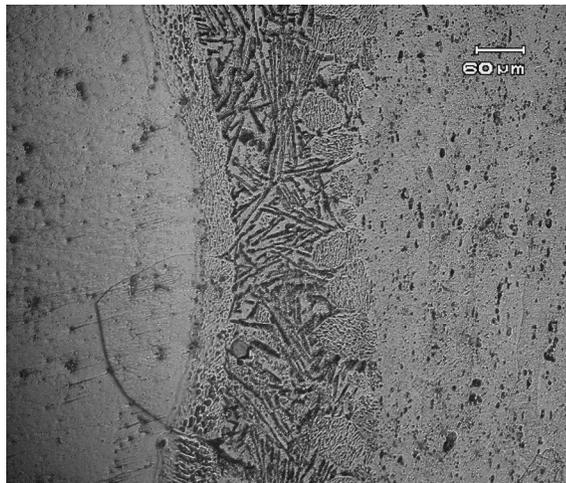
**Figura 4.31 Micrografía Unión tapa-tubo distribuidor. Aumento 100X**

#### 4.4.3.3. Unión divisor-tubo distribuidor



**Figura 4.32 Micrografía Unión divisor-tubo distribuidor. Aumento 200X**

#### 4.4.3.4 Unión multiport-Tubo distribuidor:



**Figura 4.33 Micrografía Unión multiport- tubo distribuidor. Aumento 200X**

En las figuras 4.30-4.33 se observan las uniones de soldadura de las colmenas condensador importadas y muestran la misma tendencia observada en las uniones de soldadura de las colmena evaporador importada, en cuanto a microestructura y calidad de soldadura. Presentan la misma estructura dendrítica típica de las aleaciones de aluminio-silicio que han fundido y solidificado, pequeños granos de óxido distribuidos al azar en cualquier zona del cordón de soldadura y cordones de soldadura mas delgados, lo que se traduce en que a estas se le aplica una mayor presión de preensamblaje.

Al compararlas con las uniones de las colmenas condensador nacionales, se puede decir que en estas últimas se han logrado uniones de soldadura de alta calidad y resistencia mecánica similares a las uniones de las colmenas condensador importadas, excepto en una pequeña cantidad de óxido de aluminio que no se logra disolver durante el proceso de soldadura, por lo tanto se presume contaminación de la atmósfera del horno de fabricación de los condensadores y por otro lado en las micrografías de las importadas no se observa crecimiento de grano en el metal base, como se observó en las micrografías de las colmenas condensador nacionales, reduciendo así el riesgo de deformación de los componentes y la variación de las propiedades mecánicas de las aleaciones.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES

- El cordón de soldadura posee una estructura dendrítica característica de las aleaciones de aluminio de la serie 4000 que alcanzan la temperatura eutéctica.
- En industrias FAACA los procesos no son reproducibles a todos las piezas fabricadas ya que cada lote de producción se fabrica en condiciones de proceso diferentes.
- Las colmenas evaporador sufren enfriamiento violento al ser sacadas de la cámara de enfriamiento en muy poco tiempo y ser sometidas a pruebas de fuga casi inmediatamente , lo cual podría fragilizar el metal base y el cordón de soldadura ocasionando la explosión de la colmena.La atmósfera de los hornos no se encuentra totalmente libre de oxígeno, por lo tanto no se disuelve la capa de óxido de aluminio presente en la superficie de los componentes a unir, al contrario se favorece su formación. Los hornos no poseen los dispositivos de medición de las condiciones de las atmósferas requeridas para cada proceso de soldadura fuerte.
- Los ensambles no se encuentran perfectamente ajustados y por ende no hay contacto entre algunas superficies a soldar de la colmena.En las uniones de soldadura de las colmenas condensador (soldadura fuerte de atmósfera controlada) se observó menor cantidad de granos blancos, posiblemente de óxido de aluminio, que en las uniones de las colmenas evaporador, ya que en el proceso de soldadura de los condensadores se utiliza un fundente cuya función principal es disolver este óxido. Por lo tanto, en cuanto a calidad de soldadura obtenida se refiere, el proceso de soldadura fuerte de atmósfera controlada resultó ser el más eficiente.

## CAPITULO VI

### RECOMENDACIONES

- Profundizar los análisis metalográficos, en el cordón de soldadura y el metal base, utilizando técnicas de Microscopía Electrónica (Barrido y Transmisión), con el fin de identificar y cuantificar las fases presentes en las microestructuras, para así determinar su influencia sobre las propiedades mecánicas.
- Se recomienda monitoreo permanente de los procesos a fin de garantizar la reproducibilidad de los procesos en toda la producción, independientemente de la demanda de productos que exista.
- Aumentar el tiempo de permanencia de las colmenas evaporador en la cámara de enfriamiento del horno de soldadura al vacío, a fin de evitar el choque térmico en el material y por ende su fragilización.
- Realizar mantenimiento permanente de los hornos de soldadura, a fin de remover la escoria y depurar la atmósfera de éstos.
- Estandarizar las medidas de los parales de preensamblaje de las colmenas a fin de garantizar que a todas las colmenas se les aplique la presión necesaria para que exista contacto entre todos los componentes de la colmena y lograr la unión de toda la colmena.
- Colocar dispositivos de medición calibrados en los hornos, a fin de tener un registro de los parámetros reales de soldadura y verificar que éstos coincidan con las condiciones de proceso establecidas por el Departamento de Ingeniería de Industrias FAACA

## CAPITULO VII

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- LEON, Jesús. **“Climatización Automotriz”**. Programa de capacitación de personal. Industrias FAACA, Cua 2003. pp. 1-22.
- 2.- SEPULVEDA, Miguel. **“Manual de Instrucción de Sistemas de Aire Acondicionado Automotriz”**. Cua 2000, pp. 7-15.
- 3.- PITA, Edgard. **“Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas”**. Segunda Edición. Editorial Continental. México 2003. pp. 1-17.
- 4.- AMERICAN WELDING SOCIETY. **“ Brazing Manual”** Editorial Reinhold. New. York. 1955. pp. 1-66.
- 5.- SOLVAY. **“El Proceso de Soldadura Fuerte con NOCOLOK Flux”**. Editorial Nuevas Publicaciones Brasil 2002.  
pp. 1-7.
- 6.- THE ALUMINUM ASSOCIATION. **“Aluminum Brazing Handbook”**. Segunda Edición. México 1974. pp-12-37.
- 7.- SOLVAY. **“NOCOLOK Flux”**. 2004. Editorial Nuevas Publicaciones. Brasil 2003  
pp. 3-8.
- 8.- SECO WARWICK.” **Controlled Atmosphere Aluminum Brazing System”**. Brasil 2004. pp. 1-5.
- 9.- SOLVAY. **“NOCOLOK Flux BrazingTechnology”**. Editorial Nuevas publicaciones. Brasil 1995. pp.1-6.
- 10.-BOSWELL, Jeff. **“Using a Non-Corrosive Flux”**. Aluminum Brazing. Brasil 1984.  
pp. 1-4.

- 11.- COOKE, W. E. y Colaboradores. “ **Furnace Brazing of Aluminum with a Non-Corrosive Flux**”. Technical Papers Series. Brasil 1978. pp. 1-4.
- 12.- ALCOA. “**Brazing ALCOA Aluminum**”. Brasil 1985. pp. 35-49.
- 13.- COMYN SERVICES. “**Brazing**”. México 1996. pp.1-5.
- 14.- BRICK, Robert y Otros. “**Structure and Properties of Alloys**”. Editorial Mcgraw- Hill. 1965. pp. 147-188.
- 15.- HORWITZ, Henry. “**Soldadura Aplicaciones y Práctica**”. Editorial Alfaomega. 1990. pp. 226-255.
- 16.- AVNER, Sidney. “ **Introducción a la Metalurgia Física**”. Segunda Edición. Editorial Mcgraw- Hill. 1965. pp 477-493.
- 17.- CENTRO DE DESARROLLO DEL ALUMINIO. “**Aleaciones de Aluminio, Tipificación y Normalización**”. 1969. pp. 13-45.
- 18.- METALS HANDBOOK. “**Metalography and Microestructure**”. Vol 9. Octava Edición. 1998. pp. 351-388.
- 19.- MANGONON, Pat. “**Ciencia de los Materiales, Selección y Diseño**”. Editorial Prentice Hall. 1999. pp. 540-557.
- 20.- LIEBERMAN, E. “**Modern Soldering and Brazing Techniques Business**”. Editorial News Publications. 1998.