

## Soldadura Brazing para unión de Aluminio y Cobre en tuberías de refrigeración

Miguel Angel Hernández Ferrusca <sup>[1]</sup>, Victor Vilchis <sup>[2]</sup>

<sup>[1]</sup>Alumno del Posgrado; <sup>[2]</sup> Asesor académico

[mhernandezf@cft.com.mx](mailto:mhernandezf@cft.com.mx) <sup>[1]</sup>; [vilchis@ciateq.com.mx](mailto:vilchis@ciateq.com.mx) <sup>[2]</sup>

### RESUMEN.

El objetivo de este artículo, es presentar los resultados obtenidos del proceso controlado de manufactura, para unir por medio de *brazing*, tuberías de cobre con aluminio para el uso de la refrigeración, con el fin de establecer parámetros estandarizados del proceso de brazing que permitan una unión entre las piezas, de modo que se tenga una reducción en el rechazo de éstas, alcanzando a su vez las presiones de estallamiento por encima de lo requerido por el cliente.

Las probetas, se realizaron por medio de soldadura brazing con flama de manera manual, y con máquina de inducción. Los parámetros a controlar para el primer método fueron el flujo, la presión, el tiempo y la limpieza de las piezas y para el segundo la potencia, el tiempo y la limpieza de las tuberías como factores principales.

De acuerdo a los resultados obtenidos, con el proceso de soldadura por Inducción, se logró aumentar el promedio de la resistencia al estallamiento, se aseguró la hermeticidad de las conexiones, la distribución de la soldadura fue más uniforme y la apariencia visual mejoró de forma significativa.

Para el análisis de las probetas fabricadas se hicieron pruebas destructivas:

Prueba de Burts (prueba hidrostática de estallamiento)

**Palabras Claves:** Brazing, Hermeticidad, Inducción

### INTRODUCCIÓN.

El objetivo del presente artículo es determinar, la metodología para la manufactura de las conexiones de refrigeración con ayuda de herramientas estadísticas. Con estas herramientas se pretende obtener un mejor desempeño del proceso de soldadura fuerte y que de aquí en adelante se indicará "Brazing".

El brazing es el proceso de soldadura mediante el cual se produce coalescencia entre los materiales base y un material de aporte, estos materiales base son calentados a una temperatura por encima de los 450 °C, el material de aporte se funde por conducción hacia los materiales base calentados, el material de aporte cambia de estado sólido a líquido y fluye entre las superficies de los tubos ensamblados por atracción capilar. [1]

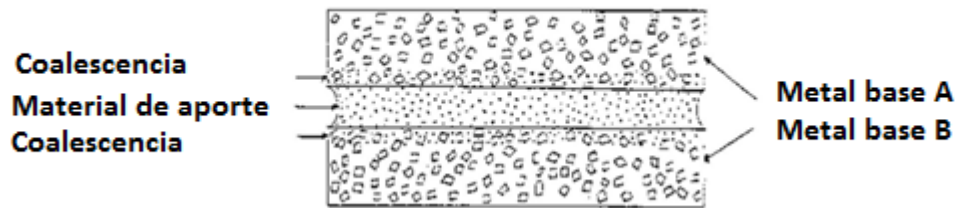


Figura 1. Coalescencia

Definimos como coalescencia (Figura 1) a la reacción metalúrgica entre el material de aporte y los metales base. La aleación de Brazing, debe tener afinidad para unirse químicamente con los metales base. Esto implica la formación de una tercera aleación donde los átomos de la aleación de aporte llenan los espacios existentes entre los átomos de los metales base. [2]

Para este caso de estudio nos enfocaremos en la unión de tuberías de cobre con aluminio (Figura 2) para equipos de refrigeración.

La razón principal de este estudio obedece a que no se contaba con el expertis para soldar estos dos tipos de materiales, desconociendo los parámetros de operación del proceso y por lo tanto llevando un proceso descontrolado en la producción de este tipo de tubería.

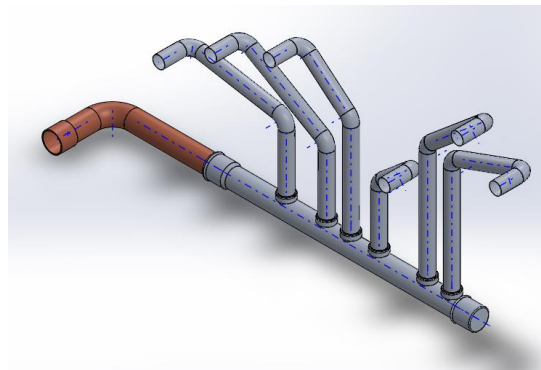


Figura 2. Conexión de refrigeración

La soldadura Brazing se puede aplicar con diferentes métodos de aportación de calor, las más comunes son flama directa, inducción y horno.

Los parámetros del proceso, se definieron analizando las mejores técnicas de aplicación de brazing de los operadores experimentados, gracias a ellos se fijaron los rangos de trabajo de los parámetros importantes del proceso con flama directa, se ajustaron diferentes tipos de flamas y tiempos de aplicación de calor. Sin embargo, un punto importante en la técnica de aplicación de calor, es que esta varía respecto a cada soldador lo que no permitía establecer factores fijos, por lo se optó por utilizar el método de Inducción para el aporte de calor. Por otra parte se verifico la alineación del ensamble de los tubos en los dispositivos, el GAP y la limpieza previa de las conexiones.

Este proyecto plantea controlar y fijar factores de operación óptimos que ayuden a cumplir con los requerimientos de calidad solicitados por el cliente, que aseguren la hermeticidad del producto y que igualen o superen la presión de estallamiento en las pruebas destructivas.

En la figura 3 se muestra el ensamble de una tubería, con el GAP que debe quedar entre ellas para que la soldadura fluya por capilaridad entre las paredes de los materiales base cuando estos son calentados.

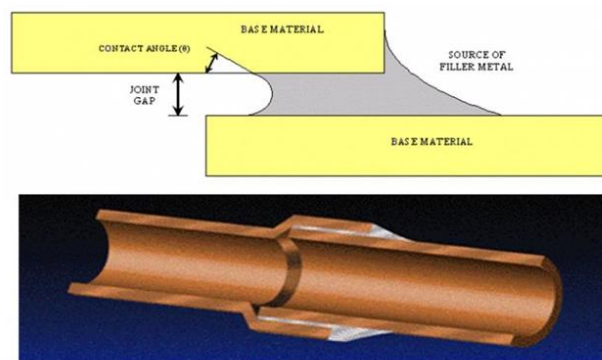


Figura 3. Ensamble con GAP uniforme

## FUNDAMENTOS

En el diseño experimental se estudian procesos y se puede considerar a un proceso como una caja negra a la cual ingresan diversas variables que interactúan entre sí para producir un resultado. Las variables que ingresan al proceso se denominan variables de entrada y el resultado, variable de salida. El nivel de la variable de salida depende de los niveles que adopten las variables de entrada. El beneficio de estos métodos es obtener la combinación de variables de entrada que nos dará como resultado las variables de salida óptimas.

Se inició este trabajo con el diseño de experimentos utilizado para el análisis de proceso de soldadura con brazing. En este caso se utilizaron Diseños Factoriales fraccionados y la metodología Taguchi que enriquece el concepto de calidad y le da robustez a los sistemas.

El estado de operación en la línea de conexiones presentaba un alto índice de fugas específicamente en la unión de aluminio con cobre. Esta operación de soldadura representaba el 70% del total del scrap generado en esta área, además de no alcanzar la mínima presión de estallamiento 2100 PSI requerida por el cliente en algunos casos.

Es por eso, la importancia de analizar este proceso para obtener una metodología y los parámetros adecuados para la unión de tubería de aluminio con cobre, que nos ayude a la reducción de scrap en el área y se alcancen los requerimientos especificados por el cliente.

## PROCEDIMIENTO

Se realizaron pruebas experimentales para determinar el proceso más adecuado para llevar a cabo la limpieza en la zona de soldadura.

*Tabla 1. Diseño Factorial Fraccionado*

Factores	Descripción	-1	1
A	LIJAR Cu	No	Si
B	Limpieza Cu con Oak Kleen 322	No	Si
C	Limpieza de Cu con thinner	No	Si
D	Limpieza de Al con Meetkleen 2070	No	Si
E	Cardeado interior de Abocinado Al	No	Si
F	Limpieza de Al con thinner	No	Si

Para preparar las probetas, el -1 significa que no se realiza la actividad descrita y el 1 significa que si se realizó la actividad. Todas las probetas fueron marcadas con el número que les corresponde de acuerdo a la preparación de la tabla del experimento. Todas las probetas fueron conformadas antes de la limpieza (Aluminio y cobre), se seleccionaron tubos de aluminio que tuvieran un diámetro exterior en el abocinado de 22.14 a 22.22 mm. Primero se aplicó un diseño de experimentos factorial fraccionado para analizar cuáles de los factores de los que se tomaron en cuenta eran significativos.

### Diseño factorial fraccionado

Factores: 6 Diseño de la base: 6,8 Resolución: III

Corridas: 24 Réplicas: 3 Fracción: 1/8

Bloques: 1 Puntos centrales (total): 0

*Tabla 2. Diseño factorial fraccionado limpieza*

Probeta	A	B	C	D	E	F
1	-1	-1	-1	1	1	1
2	1	-1	-1	-1	-1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1
4	1	1	-1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	1	-1	-1
6	1	-1	1	-1	1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	1
8	1	1	1	1	1	1
9	-1	-1	-1	1	1	1
10	1	-1	-1	-1	-1	1
11	-1	1	-1	-1	1	-1
12	1	1	-1	1	-1	-1
13	-1	-1	1	1	-1	-1
14	1	-1	1	-1	1	-1
15	-1	1	1	-1	-1	1
16	1	1	1	1	1	1
17	-1	-1	-1	1	1	1
18	1	-1	-1	-1	-1	1
19	-1	1	-1	-1	1	-1
20	1	1	-1	1	-1	-1

21	-1	-1	1	1	-1	-1
22	1	-1	1	-1	1	-1
23	-1	1	1	-1	-1	1
24	1	1	1	1	1	1

Con el análisis de los resultados de este primer diseño eliminamos operaciones innecesarias y que no le agregaban valor al producto como el lijado en el tubo de cobre.

El siguiente diseño utilizado fue con la metodología Taguchi de arreglo ortogonal. L9 con 3 factores y 9 corridas, en la Tabla 3, se muestran los factores:

Diseño de Taguchi

Diseño Taguchi de arreglo ortogonal

L9 (3\*\*3)

Factores: 3

Corridas: 9

Columnas de L9 (3\*\*4) Arreglo

1 2 3

Tabla 3. Diseño Taguchi

Probeta	Altura mm (A)	Potencia kW (B)	Tiempo Seg (C)
1	1	31	22
2	1	32	22.5
3	1	33	23
4	2	31	22.5
5	2	32	23
6	2	33	22
7	3	31	23
8	3	32	22
9	3	33	22.5

Altura (A) = Distancia de la segunda espira en la bobina inductora a la unión a soldar

Potencia (B) = Potencia de salida en la máquina de inducción.

Tiempo (C)= Tiempo de calentamiento

A continuación se muestra el proceso llevado a cabo para la preparación de las probetas:

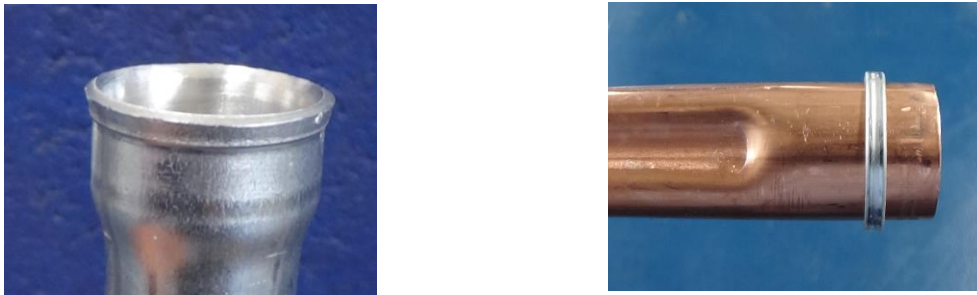
Previo a la preparación, se alinearon los dispositivos para que el ensamble de los tubos tuviera el mismo GAP (Figura 4) y la soldadura cubriera de manera uniforme toda la superficie de unión.

Se seleccionaron los tubos con características dimensionales parecidas para tener una referencia y validar que tanto pudiera afectar en el proceso.



*Figura 4. Alineación de tubos y preparación de tubos*

Se verificó el abocinado en la conexión de aluminio y el traslape entre el tubo de cobre para tener referencias dimensionales.



*Figura 5. Abocinado de tubo de aluminio y profundidad de ensamble*

## **RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS**

Aun considerando el tamaño pequeño de la muestra, se obtuvieron datos importantes de manera que se fueron acotando los valores de potencia y tiempo en el proceso de soldadura Brazing con Inducción.

Tabla 4. Resultados Diseño Taguchi

Probeta	Altura mm (A)	Potencia kW (B)	Tiempo Seg (C)	Apariencia C1 Mala=1 Buena=2	Apariencia C2 Mala=1 Buena=2	Apariencia C3 Mala=1 Buena=2	PSI
1	1	3.1	22	1	1	1	2400
5	1	3.2	22.5	2	2	2	2500
4	1	3.3	23	1	1	1	2100
6	2	3.1	22.5	1	1	1	2100
7	2	3.2	23	2	2	2	2600
8	2	3.3	22	1	1	2	2300
9	3	3.1	23	1	1	1	2300
3	3	3.2	22	1	1	1	2100
2	3	3.3	22.5	1	1	1	2000

Se realizaron varias pruebas y el ajuste óptimo de los parámetros de tiempo y potencia obtenidos, quedaron ajustados dentro de los intervalos siguientes:

Potencia =  $3.2 \pm 0.05$  kW

Tiempo =  $19.67 + 0.04 / - 0.01$  segundos

Para validar estos intervalos se realizó una corrida de producción de 30 piezas y se obtuvieron resultados positivos, alcanzando un promedio de presión de estallamiento de 2425 PSI, superando así, el promedio actual de 2320 PSI, logrando con esto hermeticidad de la pieza y una apariencia visual muy buena en la unión.



Figura 6. Distribución de la soldadura en la unión

Se verificó la distribución de la soldadura y esta cubría en un 95 % la superficie de la unión como lo muestra la imagen 6.



## CONCLUSION

El proceso de manufactura propuesto para la unión con brazing a través de la inducción, cumplió con los requerimientos fijados al principio del proyecto, la calidad y el desempeño de las conexiones se encuentran dentro de lo especificado por el cliente, llevando a un proceso controlado y que no depende de la mano de obra especializada que puede afectar en cierto momento la productividad en la línea de producción. Sin embargo, el proceso tiene áreas de oportunidad y podría seguir acotando más los parámetros de ajuste, así también, se observó que las herramientas estadísticas ayudan a optimizar los procesos de manufactura sin tener que utilizar tamaños de muestra muy grandes, ayuda al ahorro de costos de proyectos y eliminar operaciones que no agregan valor al producto final, haciendo más competitiva a la empresa.

## REFERENCIAS

[1] American Welding Society

[2] Lucas-Milhaupt (2008) Brazing Technical Bulletin

[3] Taguchi, G., Elsayed, E. A., & Hsiang, T. C. (1989). *Quality engineering in production systems*. New York: McGraw-Hill.

[4] Cary, H. B. (1994). *Modern welding technology* (3rd ed.). Englewood Cliffs, NJ:Prentice Hall.