



PROYECTO INTEGRADOR PROFESIONAL

Caracterización de la Soldadura Brazing de Pastillas de Carburo de Tungsteno en acero AISI – SAE 4140

Autor: Maria Laura Lascano

Legajo: ING-009

Directora Académica: Mónica Zalazar

Carrera: Ingeniería Química

Departamento de Mecánica Aplicada

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional del Comahue

Neuquén

-2022-



PROYECTO INTEGRADOR PROFESIONAL

Caracterización de la Soldadura Brazing de Pastillas de Carburo de Tungsteno en acero AISI – SAE 4140

Autor: Maria Laura Lascano

Legajo: ING-009

Directora Académica: Mónica Zalazar

Carrera: Ingeniería Química

Departamento de Mecánica Aplicada

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional del Comahue

Neuquén

-2022-

RESUMEN

El proceso de soldadura brazing consiste en una unión heterogénea, gobernada por mecanismos de difusión, en el que el metal de aporte se funde completamente a temperaturas de fusión superiores a 450°C (840°F), pero inferior a la de los metales base. El metal fundido penetra y se extiende entre las piezas a soldar por efecto de capilaridad.

En este trabajo se caracteriza la soldadura brazing con torcha, para unir insertos de carburo de tungsteno a mordazas de acero AISI - SAE 4140. Previamente se mecanizaron los alojamientos de estos insertos en las mordazas. Se empleó como metal de aporte varillas de aleación de plata, libres de cadmio, obtenidas del proveedor FONTARGEN BRAZING, y se utilizó el fundente F300 H ULTRA NT, de la misma marca. El método de fundido fue por oxiacetilénica.

El objetivo de este trabajo es obtener las condiciones óptimas de esta unión y determinar el rango adecuado de los parámetros que intervienen, para ello se realizaron ensayos macroscópicos y microscópicos ópticos, incluyendo el análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM). Además, se realizaron barridos de microdurezas en la interfase de soldadura involucrando los dos metales base, análisis de composición química de los mismos y se determinaron las microestructuras de las muestras.

Se realizaron varias probetas, considerando un mejor control en el precalentamiento y en el enfriamiento posterior a la soldadura. Es importante tener un control de los parámetros de soldadura a fin de minimizar o evitar la aparición de discontinuidades que puedan comprometer el desempeño y la vida útil de las mordazas.

PALABRAS CLAVES

Soldadura Brazing; AISI – SAE 4140; Microestructura; Calificación de brazing.

ABSTRACT

The brazing process consists of a heterogeneous joint, governed by diffusion mechanisms, in which the filler metal melts completely at melting temperatures higher than 450 °C (840 °F), but lower than the base metal's melting point. The molten metal penetrates and spreads between the pieces to be welded by capillary action.

In this work, torch brazing is characterized to join AISI - SAE 4140 steel jaws with tungsten carbide pads. Previously, the housings of these pads in the jaws were machined. Cadmium-free silver alloy rods, obtained from the supplier FONTARGEN BRAZING, were used as filler metal, and the flux F300 H ULTRA NT, from the same brand, was used. The melting method was by oxyacetylene.

The purpose of this work is to obtain the optimum welding conditions and determine the appropriate range of the parameters involved. For this, optical macroscopic and microscopic tests were carried out, including scanning electron microscope analysis (SEM). In addition, microhardness sweep were performed in the welding interface involving the two base metals, analysis of their chemical composition, and the microstructures of the samples were determined.

Several test pieces were made considering a better control in preheating and postbrazing heat treatment. It is important to have control of the welding parameters in order to minimize or avoid the appearance of discontinuities that could compromise the performance and useful life of the joint.

KEY WORDS

Brazing; AISI 4140 steel; Microstructure; Brazing characterization.

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

A mis papas, Alicia y Raúl, por brindarme la educación y el apoyo a lo largo de toda mi vida, gracias a ellos he conseguido ser la persona que soy ahora. A mis hermanos, Rocío y Marcos, por darme alegrías y lindos recuerdos que mantendré en toda mi vida. Querida familia les dedico este último trabajo de mi carrera, muchas gracias por todo.

A mis abuelos, mis tías y tíos, y mis primos, que me acompañaron a lo largo de este camino.

A mis amigas, las chicas, muchas gracias por brindarme su apoyo incondicional y tantas horas de charlas y ayuda en los momentos de dudas e inciertos. Quiero agradecer a mis amigas y amigos de la facultad, por compartir años de puro estudio y mates. También quiero agradecer a mi pareja, por su buena predisposición, en especial por su cariño y paciencia para acompañarme en este último paso.

A Mónica Zalazar, por darme la oportunidad de realizar este trabajo junto a ella y por brindarme su tiempo y paciencia para enseñarme todo lo que no sabía. También quiero agradecer a los integrantes del Laboratorio de Metalografía y Soldadura, por la buena predisposición en la realización de las tareas de este trabajo en el laboratorio, por sus enseñanzas y lindos momentos que hicieron el trabajo más llevadero.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I	1
<i>Introducción</i>	1
CAPÍTULO II	3
<i>Revisión de bibliografía</i>	3
2.1. Proceso de soldadura Brazing	3
2.1.1. Generalidades y comparación con los demás procesos	3
2.1.2. Ventajas y desventajas del proceso	6
2.1.3. Descripción de la soldadura brazing con torcha (torch brazing)	7
2.1.4. Riesgos y Recomendaciones de Seguridad del Proceso Brazing	11
2.1.4.1. Riesgos y precauciones de seguridad para procesos con oxiacetilénica.....	12
2.1.4.2. Peligros asociados al uso de cilindros de gas	13
2.1.4.3. Peligros asociados al proceso	14
2.1.5. Discontinuidades del Brazing	15
2.1.6. Parámetros de soldadura.....	18
2.2. Materiales utilizados en la soldadura	21
2.2.1. Acero AISI – SAE 4140.....	21
2.2.2. Carburo de Tungsteno (CW)	23
2.2.3. Metal de aporte y fundente.....	23
2.2.3.1. Diagrama de Fases Ag-Zn-Cu y Microestructuras	27
CAPÍTULO III	32
<i>Materiales y Técnicas Experimentales</i>	32
3. Desarrollo Experimental.....	32
3.1. Material Analizado	32
3.2. Realización de la soldadura.....	33
3.3. Caracterización y técnicas experimentales utilizadas.....	34
3.3.1. Determinación de la composición química.	34
3.3.2. Inspección visual	34
3.3.3. Obtención de las probetas metalográficas	35
3.3.4. Preparación metalográfica de las muestras y caracterización macroscópica.....	35
3.3.5. Caracterización de la microestructura mediante microscopía óptica	36
3.3.6. Medición de la microdureza	37
3.3.7. Microscopía electrónica de barrido.	38
CAPÍTULO IV	40
<i>Resultados y discusiones</i>	40

4.1.	Resultado de la inspección visual y de las macrografías	40
4.2.	Resultados de la composición química.....	47
4.3.	Resultados de la micrografía	47
4.4.	Resultados de la caracterización de la microestructura	50
4.5.	Resultados de la medición de microdureza	53
4.6.	Resultado de la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	55
4.7.	Especificación de Procedimiento de Brazing “BPS” en base a ASME IX.....	63
CAPÍTULO V	.....	66
<i>Conclusiones</i>	.....	66
<i>Tareas futuras:</i>	.....	68
BIBLIOGRAFÍA	.....	69
ANEXO I: BPS – ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE BRAZING	.....	73
ANEXO II: INFORME COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AISI-SAE 4140	.....	75
ANEXO III: INFORME BARRIDO SEM – OXFORD INSTRUMENTS	.....	77
ANEXO IV: ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL METAL DE APORTE	.....	93

CAPÍTULO I

Introducción

El desarrollo constante de la industria debe ser acompañado de la innovación de materiales, que aseguren el pleno funcionamiento y una amplia vida útil, y a su vez sean económicamente rentables.

En los últimos años, se ha hecho especial hincapié en el desarrollo de aleaciones de larga duración, cuya fundición sean de bajo costo, con resistencia a la corrosión superior a los materiales más convencionales y que mantenga o mejore las propiedades mecánicas de estos. Por ejemplo, ha habido una creciente tendencia a reemplazar las cañerías, accesorios y equipos industriales que originalmente eran construidos a base de cobre o aceros, por materiales más económicos. Sin embargo, un factor fundamental dentro de la construcción de un equipo, más allá de los materiales a utilizar, es la forma de unión de los materiales. La unión por soldadura es la opción más versátil y económica, pero conlleva un verdadero desafío, y es allí donde la soldadura brazing es muy aplicada.

Este proceso de soldadura consiste en una unión heterogénea, gobernada por mecanismos de difusión, en el que el metal de aporte se funde completamente a temperaturas de fusión superiores a 450°C (840°F), pero inferior a la de los metales base. El metal fundido penetra y se extiende entre las piezas a soldar por efecto de capilaridad.

Este procedimiento de soldadura es el método más antiguo para unir metales, sin contar los métodos mecánicos. El mismo tiene orígenes remotos, quizá desde la civilización egipcia, en donde se empleaba para soldar vasijas o joyería. Inicialmente, dada la carencia de tecnología para producir calor, este proceso se usaba en aleaciones de oro-cobre, plata-cobre, plomo y estaño, puesto que sus puntos de fusión son relativamente bajos. Se utilizaban algunos materiales orgánicos para eliminar la oxidación y mejorar el acabado de los metales.

El despertar de este procedimiento, que cambió el mundo de la soldadura por completo, fue al inicio del siglo XX. Ante la exigencia para fundir metales a bajos costos, comenzó una expansión de todos los procedimientos de soldadura. Al final de la Segunda Guerra Mundial comenzaron a surgir otros tantos procedimientos, que complementaron los alcances de la

soldadura brazing. De este modo, la tecnología evolucionó hasta abarcar la gran variedad de aleaciones que hoy se pueden soldar con este u otros procedimientos.

La soldadura brazing es un proceso que permite unir casi cualquier combinación de metales de diferente soldabilidad, y en formas complejas. Actualmente, se utiliza para unir accesorios en tuberías metálicas y en la unión de componentes de distintos equipos. En la industria petroquímica, se utiliza en intercambiadores de calor, calderas de agua, condensadores, evaporadores, entre otros, ya que permite minimizar los parámetros que puedan afectar el desempeño y la vida útil de los mismos.

En este trabajo analizaremos la aplicación del proceso brazing para unir una muestra de carburo de tungsteno a otra de un acero de baja aleación.

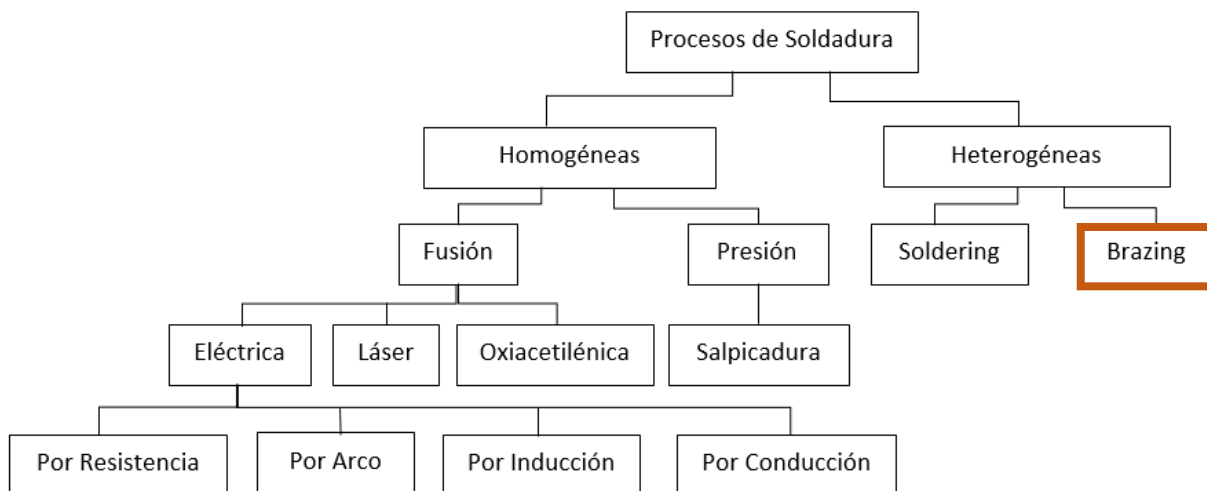
CAPÍTULO II

Revisión de bibliografía

La soldadura es un proceso de unión que produce la coalescencia de materiales por medio de calentamiento hasta la temperatura de soldadura, con o sin el uso de presión o por la aplicación de presión únicamente, y con o sin el uso de metal de aporte.

Existen diversos tipos de soldadura, una forma de clasificarlos es si la soldadura es químicamente homogénea o si es químicamente heterogénea. En la soldadura homogénea los materiales a soldar y el metal de aporte, si lo hay, son de misma composición química o similar; mientras que, en la soldadura heterogénea, la composición del metal de aporte y materiales bases son distintos. En este último grupo se encuentran los procesos de soldadura Soldering y la soldadura Brazing, este último es el que se estudia en este proyecto. La Figura 1 muestra un esquema de clasificación de los procesos de soldadura.

Figura 1 Esquema de clasificación de los procesos de soldadura.



2.1. Proceso de soldadura Brazing

2.1.1. Generalidades y comparación con los demás procesos

Según la Asociación Americana de Soldadura (AWS - American Welding Society) el término soldadura brazing, o también llamada brazing (braze es una palabra inglesa que significa soldar), abarca un grupo de procesos de soldadura que producen coalescencia de materiales

calentándolos a la temperatura de soldadura brazing, en presencia de un metal de aporte, cuyo punto de fusión es superior a los 450 °C (840 °F) e inferior al punto de solidificación del metal base. El metal de aporte se distribuye entre las superficies de unión estrechamente ajustadas del trabajo por acción capilar. El efecto de capilaridad es tal que hace que el metal fundido penetre y se extienda entre las piezas de la unión.[1][2]

Figura 2 Proceso Brazing con Torcha manual.[2]



Los procesos de soldadura brazing se eligen habitualmente de acuerdo con las fuentes o métodos de calentamiento, que permitan fundir el metal de aporte y llevar al metal base a la temperatura apropiada. La Tabla 1 muestra los métodos desarrollados para uso industrial de este proceso.[2]

Método y descripción	Ventajas	Limitaciones
Soldadura con torcha o Torch brazing (TB): se utiliza acetileno, hidrógeno o propano junto con aire u oxígeno como gas de combustión, estos difieren en la temperatura de la llama.	Método flexible, aplicable a muchos ensamblés. El equipo es de bajo costo. El calor puede aplicarse en forma localizada.	La pieza de trabajo es propensa a oxidarse. Se requiere operador experimentado. Limitaciones en el metal base. Las juntas múltiples o inaccesibles son difíciles de soldar. Este calentamiento ocasiona deformación.
Soldadura brazing en horno o Furnace brazing (FB): la pieza de trabajo se calienta en un horno en presencia de una atmósfera reductora. El metal de aporte se coloca en forma de hoja con espesor de papel, pasta, trozos, polvo o rociado de metal fundido.	No se producen esfuerzos residuales. Factible para producción en masa. El calentamiento uniforme reduce la deformación. Mejor control de carbonización o descarbonización y de la temperatura. Se obtienen superficies brillantes.	Requiere de dispositivos, o del auto posicionado de los componentes. No es posible el calentamiento localizado. El equipo es costoso para lotes pequeños.
Soldadura por inducción o Induction brazing (IB): por medio de una bobina enfriada por agua que transporta corriente alterna, se obtiene de una corriente eléctrica inducida en los componentes que se van a soldar, (estos no forman parte del circuito eléctrico). El calentamiento se genera por la resistencia a la circulación de corriente de estos componentes.	El calentamiento es rápido y localizado. Puede ser adaptado a la producción masiva.	Debido al calentamiento localizado, puede haber deformación. No se recomienda para soldaduras con cobre. La temperatura es difícil de controlar.
Soldadura por resistencia o Resistance brazing (RB): el calor se suministra a la pieza de trabajo por conducción, desde los electrodos calientes de carbón o por resistencia de la pieza de trabajo al paso de la corriente.	El equipo es de bajo costo. El calentamiento es rápido y localizado. Requiere un período más corto para capacitar al operador. Es efectivo para soldaduras largas de costura.	Es posible que ocurra deformación. El tamaño de ensamble es limitado. Requiere de manejo individual.
Soldadura por inmersión o Dip brazing (DB): Las piezas de trabajo se sumergen en un baño de metal fundido para poder ser soldadas.	Permite soldar varias juntas a la vez. Se utiliza para soldar partes pequeñas. Se obtienen menos deformaciones que en TB.	Las partes a soldar deben estar limpias. El baño debe ser lo suficientemente grande para que el descenso de temperatura por inmersión sea bajo.
Soldadura por infrarrojos o	Las partes pueden estar	Requiere de un equipo sofisticado

<i>Infrared brazing (IRB):</i> el calentamiento se obtiene por radiación de luz de onda larga o infrarroja (radiación invisible de alta intensidad).	contenidas en el aire, en una atmósfera inerte o en vacío. Está diseñada para aplicación automática.	y más costoso. El proceso de soldadura es más lento que el IB.
---	--	--

Tabla 1 Descripción y comparación entre diversos métodos de aplicación de calor.

2.1.2. Ventajas y desventajas del proceso

A continuación, se mostrarán algunas de las ventajas de este proceso: [1] [2] [3]

- Método simple y económico para producir uniones de extensa superficie de unión, uniones complejas y multicomponentes. La articulación de soldadura es visible para el operador, que ajusta el proceso en función de la observación. Por otro lado, en el proceso, el calor se dirige solo al área del trabajo, esto es una consideración importante cuando los costos de energía representan una gran fracción del costo de una junta soldada.
- Capacidad para unir espesores metálicos que varían ampliamente en tamaño.
- Capacidad para preservar revestimientos y recubrimientos o superficies metálicas protectoras.
- Capacidad de unión de piezas porosas, forjadas, fundidas, compuestos, metales disímiles (metales que son diferentes en la naturaleza de sus componentes principales o elementos de aleación), metales con no metales, etc.
- Tanto la temperatura de la junta y del aporte son similares.
- Excelente distribución de tensiones y transferencia de calor, esto hace que no se generen deformaciones de origen térmico en las piezas del metal base, como ocurre con otros procedimientos de soldeo que concentran más el foco de temperatura (por ejemplo, la soldadura de fusión por arco eléctrico).
- Como consecuencia de lo anterior, y dado que no se produce la fusión del metal base, se evitan también que se produzcan cambios metalúrgicos entre las piezas soldadas, conservando mejor sus propiedades mecánicas.
- Permite mantener un alto grado de precisión en las tolerancias.
- Técnicas de control de calidad son reproducibles y confiables.

En cuanto a las desventajas del este proceso:

- Este método de unión no es fácil de adaptar a elevados niveles de producción, aunque tiene la posibilidad de realizar varias uniones en simultáneo.
- No hay tanta información disponible acerca de los metales de aporte apropiados para los distintos materiales estructurales.
- En este proceso, la preparación de las piezas previo al inicio de la soldadura es de vital importancia para que la penetración, que en la mayoría de las ocasiones se produce por capilaridad del metal de aporte, sea efectivo. Una inadecuada preparación previa (falta de limpieza de las superficies o mala preparación) puede anular la eficacia de la soldadura.

2.1.3. Descripción de la soldadura brazing con torcha (torch brazing)

De todos los métodos anteriormente mencionados, la soldadura con torcha o soplete es el más utilizado en la industria, específicamente en trabajos de reparación, lotes de producción pequeños, y como alternativa a la soldadura de fusión. Este proceso se logra calentando el conjunto de materiales a unir con una llama de gas combustible, usando una o más torchas de gas. Dependiendo de la temperatura y la cantidad de calor requerida se pueden utilizar como gas combustible el acetileno, el propano o el gas natural, estos son quemados con aire, aire comprimido u oxígeno.

Para poder seleccionar los materiales que se utilizan en la soldadura brazing, como los metales o materiales base, metal de aporte, atmósfera y fundente, se hace en función de su capacidad para formar uniones soldadas, con las características mecánicas y físicas requeridas para la aplicación en servicio. Las primeras consideraciones que hay que tener en cuenta son: qué producto se desea diseñar y cómo va a responder este una vez puesto en servicio, esto dependerá de las características de los materiales base a utilizar y el diseño de la junta a soldar, que posteriormente, influirán en la elección de un metal de aporte apropiado. Este último debe poseer una buena fluidez y poder distribuir la masa fundida a lo largo de las juntas preparadas del metal base; también influyen la resistencia a la corrosión y la temperatura de trabajo para el proceso.

Existen gran cantidad de tipos de metal de aporte, sin embargo, estos se dividen en un número relativamente pequeño de familias de aleaciones, definidas según el componente principal del metal. En la Figura 3 se ven los metales de aporte según la clasificación de la AWS. [2]

El fósforo en este tipo de soldaduras, actúa como un agente fundente (componente químico aplicado sobre el metal base para prevenir la formación de óxidos durante el calentamiento y para favorecer el mojado del metal de aporte), y éstas son de menor costo que las de alto contenido de plata, por lo que, en ocasiones, no se requiere aplicar fundente.

La plata aumenta la fluidez y disminuye el punto de fusión. El porcentaje de plata puede ir desde el 2% hasta el 60%. Esta aleación es apta para soldar todo tipo de metales, excepto el aluminio y sus aleaciones. Para este trabajo se utilizan varillas de aleación Ag-Cu-Zn, libres de cadmio.

El incremento de silicio disminuye la temperatura de liquidus; la adición de cobre y zinc baja las temperaturas de liquidus y solidus simultáneamente, pero hace que las juntas sean susceptibles a la corrosión. Algunos elementos son añadidos, como el zinc, magnesio, estaño, etc., con la finalidad de reducir la temperatura de fusión y aumentar la fluidez. Cuando se utilicen varillas con cadmio, dada su toxicidad, se recomienda soldar con buena ventilación.[4], [2]

El metal de aporte se presenta en forma de varillas de distintos diámetros y longitudes, siendo las más habituales para trabajos corrientes las de 1,5, 2 y 3 mm de diámetro y 500 mm de longitud, y pueden contener una fina capa de decapante adherida en la superficie (sino este viene en forma de polvo y se coloca sobre la varilla antes de soldar). Los fabricantes incluyen en sus catálogos el intervalo de temperatura de fusión para cada tipo de aleación que comercializan, así como sus diferentes formas, ver Figura 13.

En la Figura 4 se detallan los elementos necesarios para la realización de la soldadura brazing con torcha, se compone de los tubos de gas, los reguladores de gas, las mangueras que llevan el gas hasta el soplete, el soplete como tal y otros elementos. La función del soplete es mezclar los gases en la proporción adecuada y con la presión requerida para su combustión en forma de llama.

Figura 3 Metales de aporte para el proceso Brazing según la AWS. [2]

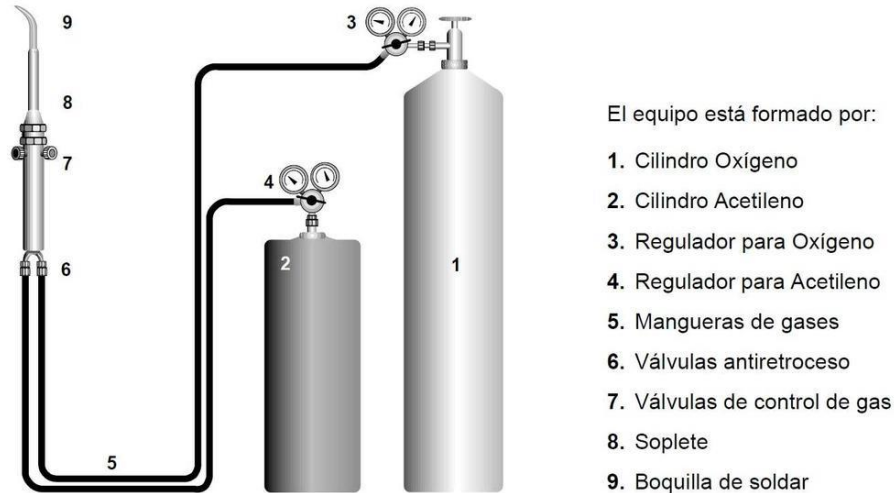
Table 12.3
Base Metal-Filler Metal Combinations

Base Metals	Al & Al Alloys	Mg & Mg Alloys	Cu & Cu Alloys	Carbon & Low-Alloy Steels	Cast Irons	Stainless Steels	Ni & Ni Alloys	Ti & Ti Alloys	Be, Zr, & Alloys (Reactive Metals)	W, Mo, Ta, Nb & Alloys (Refractory Metals)	Tool Steels
Al & Al alloys	BAISI										
Mg & Mg alloys	X	BMg									
Cu & Cu alloys	BAISI	X	BAG, BAu, BCuP, RBCuZn, BNi								
Carbon & low-alloy steels	BAISI**	X	BAG, BAu, RBCuZn, BNi	BAG, BAu, BCu, RBCuZn, BNi							
Cast irons	X	X	BAG, BAu, RBCuZn, BNi	BAG, RBCuZn, BNi	BAG, RBCuZn, BNi						
Stainless steels	BAISI**	X	BAG, BAu, BNi	BAG, BAu, BCu, BNi, RBCuZn	BAG, BAu, BCu, BNi, RBCuZn	BAG, BAu, BCu, BNi					
Ni & Ni alloys	BAISI	X	BAG, BAu, RBCuZn, BNi	BAG, BAu, BCu, RBCuZn, BNi	BAG, BCu, RBCuZn, BNi	BAG, BAu, BCu, BNi	BAG, BAu, BCu, BNi				
Ti & Ti alloys	BAISI	X	BAG	BAG	BAG	BAG	BAG	BAG, BAISI			
Be, Zr & alloys (reactive metals)	Y	X	BAG	BAG	BAG	BAG	BAG	BAG	Y		
W, Mo, Ta, Nb, & alloys (refractory metals)	X	X	BAG	BAG, BCu, BNi,* BAu	BAG, BCu, BNi*	BAG, BCu, BNi,* BAu	BAG, BCu, BNi,* BAu	Y	Y	BCu, BAG, BNi, BAu	
Tool steels	X	X	BAG, BAu, RBCuZn, BNi	BAG, BAu, BCu, RBCuZn, BNi	BAG, BAu, BCu, RBCuZn, BNi	BAG, BAu, BCu, BNi	BAG, BAu, BCu, RBCuZn, BNi	X	X	BCu, BAG, BNi, BAu	BAG, BAu, BCu, RBCuZn, BNi

Notes:
 Refer to ANSI/AWS A5.8, *Specification for Filler Metals for Brazing*, for information on the specific compositions within each classification (See Reference 8).
 X—Not recommended; however, special techniques may be practicable for certain dissimilar metal combinations.
 Y—Generalizations on these combinations cannot be made. Refer to American Welding Society (AWS) Committee on Brazing and Soldering, (forthcoming), *Brazing Handbook*, 5th ed., Miami: American Welding Society, for usable filler metals.
 *Special brazing filler metals are available and are used successfully for specific metal combinations.
 **Recommended only if the nonaluminum is nickel plated first.

Key:
 BAISI—Aluminum
 BAG—Silver base
 BAu—Gold base
 BCu—Copper base
 BCuP—Copper phosphorus
 RBCuZn—Copper zinc
 BMg—Magnesium base
 BNi—Nickel base

Figura 4 Equipo para torch brazing.



- **Cilindros o Tubos de Gas:** los gases combustibles comúnmente utilizados en el brazing con soplete, son almacenados en tubos individuales. Estos tubos son diseñados para gases específicos. El tubo de acetileno comúnmente es de color rojo y contiene acetona, mientras que el tubo de oxígeno es de color azul o verde. [3]
- **Reguladores:** los reguladores como su nombre indica, regulan la presión del gas contenido en los cilindros, para asegurar una presión de salida adecuada para el proceso. Los reguladores normalmente presentan dos medidores: uno muestra la medición de la presión en el cilindro, mientras que el otro medidor muestra la presión entregada al soplete. [3]
- **Mangueras:** su función es la de conducir los gases desde los cilindros hasta el soplete. Son de material flexible y soportan valores de presión relativamente altas. Deben permitir al soldador movilidad y mantener a los tubos de gas lejos del punto de aplicación de calor. Las mangueras deben ser de colores iguales a los de los tubos para no mezclar los gases y tener un método de identificación. [3]
- **Soplete:** la función del soplete es mezclar los gases en la proporción adecuada y con la presión requerida para su combustión en forma de llama. Las válvulas de control de los gases regulan la entrada en el soplete de los gases procedentes de las botellas. La boquilla determina la potencia de la llama, la cual depende del diámetro de su orificio, a mayor diámetro mayor potencia. En la Figura 5, se puede ver el esquema de un soplete.

Es importante controlar la llama del soplete, la misma depende de la mezcla de caudales de ambos gases. Esto se logra abriendo ligeramente la llave del gas acetileno en el soplete y con un mechero encenderemos la llama, la cual se debe regular de tal forma que su base toque la boquilla. Luego, controlando la mezcla de gases, se van a producir tres tipos de flama, como se puede apreciar en la Figura 6. Se recomienda una llama reductora cuando se realice soldadura brazing. [5]

Figura 5 Esquema de un soplete. [5]

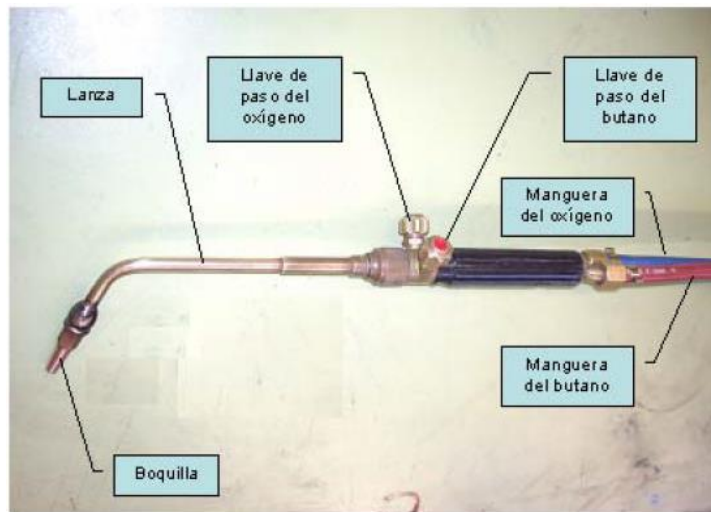
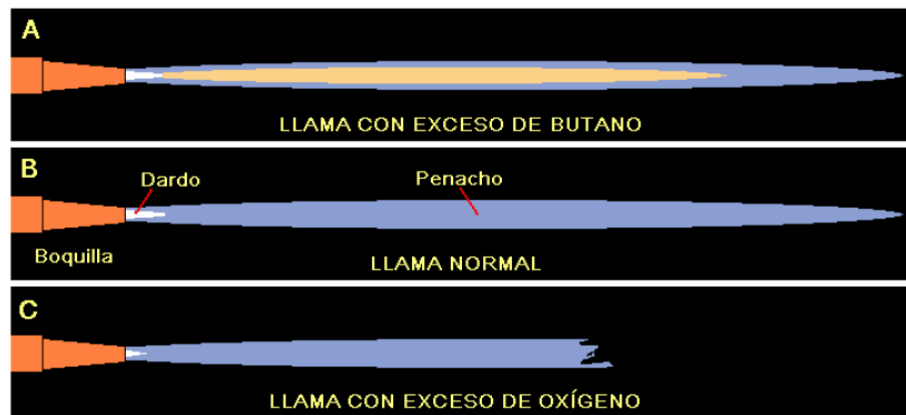


Figura 6 Aspecto de llama en función de la proporción de los gases en la mezcla. [5]



2.1.4. Riesgos y Recomendaciones de Seguridad del Proceso Brazing

En el proceso de soldadura brazing, siempre está la posibilidad de que se generen vapores y gases peligrosos por los recubrimientos del metal base, los metales de aporte que contienen

zinc y cadmio, y también el fluoruro de los fundentes. Para protegerse de cualquier peligro que representen estos vapores, se debe seguir las recomendaciones que figuran a continuación.[6]

1. Ventile las áreas confinadas: use ventiladores y campanas extractoras para alejar todos los vapores y gases del trabajo, y respiradores con fuente de aire, según sea requerido.
2. Limpie completamente los metales base: la presencia de un contaminante de composición desconocida sobre los metales base puede suponer un peligro por la generación de vapor y puede provocar una descomposición demasiado rápida del fundente, lo que llevaría al sobrecalentamiento y a la generación de vapores.
3. Use suficiente fundente: el fundente protege los metales base y el metal de aportación durante el ciclo de calentamiento. Una cobertura total con fundente reduce la generación de vapores. Además, es recomendable que se consulte la hoja de datos respecto de los peligros específicos relacionados con el fundente para la soldadura brazing.
4. Precaliente homogéneamente los metales: caliente los metales base de manera amplia y uniforme. El calentamiento localizado intenso consume fundente, lo que aumenta el riesgo de que se generen vapores. Aplique calor solamente a los metales base, no al metal de aportación. (La llama directa sobre el metal de aportación provoca sobrecalentamiento y vapores).
5. Conozca los metales base: un recubrimiento de cadmio sobre un metal base se volatilizará y producirá vapores tóxicos durante el calentamiento. Los recubrimientos de zinc (galvanizados) también generarán vapores cuando se calientan. Se recomienda que se retiren estos recubrimientos antes de calentar las piezas para el proceso de soldadura.
6. Conozca el metal de aporte a emplear: tenga especial cuidado de no sobrecalentar el ensamblaje cuando use metales de aporte que contengan cadmio. Consulte la Hoja de Datos de Seguridad (Safety Data Sheet, SDS) para conocer las temperaturas máximas recomendadas para soldaduras brazing de un metal de aporte específico. Asegúrese de leer las etiquetas de advertencia y seguir atentamente las instrucciones sugeridas por el proveedor del metal de aporte.

2.1.4.1. Riesgos y precauciones de seguridad para procesos con oxiacetilénica

Los gases en estado comprimido son en la actualidad prácticamente indispensables para llevar a cabo la mayoría de los procesos de soldadura. Por su gran capacidad inflamable, el gas

más utilizado es el acetileno que, combinado con el oxígeno, es la base de la soldadura oxiacetilénica y oxicorte, el tipo de soldadura por gas más utilizado.

Por otro lado, y a pesar de que los recipientes que contienen gases comprimidos se construyen de forma suficientemente segura, todavía se producen muchos accidentes por no seguir las normas de seguridad relacionadas con las operaciones complementarias de manutención, transporte, almacenamiento y las distintas formas de utilización.

En esta sección se describirá los riesgos y precauciones de seguridad en general para los equipos de soldadura oxiacetilénica por alta presión portátil, donde tanto el oxígeno como el gas combustible (acetileno, hidrógeno, etc.) que alimentan el soplete proceden de los cilindros de gas que los contienen a alta presión. Es conveniente resaltar que la llama de un soplete de acetileno/oxígeno puede llegar a alcanzar una temperatura por encima de los 3.100°C aumentando de esta forma la peligrosidad de este tipo de soldadura.[7]

Los peligros asociados y sus respectivas medidas preventivas y de protección de este tipo de equipamiento lo podemos dividir en dos grandes grupos a saber:

- Los propios generados por los cilindros de oxígeno y combustible.
- Los propios del proceso y los que el proceso genera dentro de los ambientes de trabajo.

2.1.4.2. Peligros asociados al uso de cilindros de gas

Los peligros asociados al uso de cilindros de gas son básicamente dos: [7]

- Incendio y/o explosión por fugas o sobrecalentamientos incontrolados.
- Atrapamientos diversos en manipulación de botellas.

Todos los años, los incendios causados por soldadura, corte o procesos similares causan costosos daños materiales y personales. Estos incendios suelen ser debidos a falta de cuidado, la cual a su vez se debe a la ignorancia.

Para que se produzca un incendio, se necesitan tres factores: calor, oxígeno y material combustible. En los procesos de soldadura, corte y similares, siempre se cumplen dos de estas condiciones. El oxígeno se encuentra en el aire que nos rodea. El calor está presente en forma de la llama caliente, el metal de base calentado y las partículas de metal y escoria proyectadas. Recuérdese que las partículas de metal y de escoria pueden proyectarse largas distancias, y que pueden estar lo suficientemente calientes para incendiar material inflamable, incluso aunque no

estén visiblemente al rojo. La temperatura de la llama puede llegar hasta 3.100°C. La llama está rodeada de gases invisibles, que también están muy calientes. Tan lejos como a 50 cm por delante de la punta de la llama, los gases pueden tener una temperatura de nada menos que 300°C.

Para que haya fuego se necesita un material combustible, que puede ser, por ejemplo, polvo y basuras en el lugar de trabajo, o si hay accesorios combustibles cerca del lugar de trabajo.

Un riesgo corriente de los cilindros de acetileno es que, si se produce una pequeña fuga y arde, el resultado es una llama pequeña, pero que puede causar la fusión del metal fusible y producirse entonces una llama como la de un soplete, que puede llegar hasta los 3,5 metros de longitud. Esta llama repentina puede ser un peligro para las personas o para otros recipientes de gases que pudieran haber alrededor. [7]

2.1.4.3. Peligros asociados al proceso

Los peligros más importantes asociados al proceso son: [7]

- Incendio y/o explosión durante los procesos de encendido y apagado, por utilización incorrecta del soplete, montaje incorrecto o estar en mal estado. También se pueden producir por retorno de la llama o por falta de orden o limpieza.
- Exposiciones a radiaciones en las bandas de UV visible e IR del espectro en dosis importantes y con distintas intensidades energéticas, nocivas para los ojos, procedentes del soplete y del metal incandescente del arco de soldadura.
- Quemaduras por salpicaduras de metal incandescente y contactos con los objetos calientes que se están soldando.
- Proyecciones de partículas de piezas trabajadas en diversas partes del cuerpo.
- Exposición a humos y gases de soldadura, por factores de riesgo diversos, generalmente por sistemas de extracción localizada inexistentes o ineficientes.

2.1.5. Discontinuidades del Brazing

Las discontinuidades son interrupciones físicas en la estructura deseada de una soldadura, y son consideradas defectos cuando por magnitud o localización constituyen un daño para la finalidad y funcionamiento de la soldadura. En el proceso brazing, las discontinuidades generalmente pertenecen a tres clases:

1. Las asociadas a requisitos dimensionales.
2. Las asociadas a discontinuidades estructurales de la unión a soldar.
3. Las asociadas a los requerimientos metalúrgicos entre el metal y el proceso de soldadura.[2]

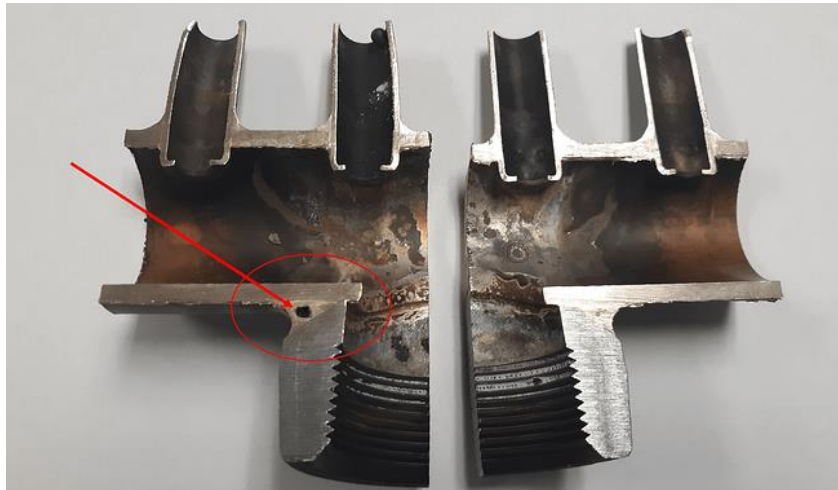
Para poder identificar los distintos tipos de discontinuidades se utilizan tanto ensayos no destructivos (END) como destructivos, y con sus resultados se definen los límites o niveles de aceptación según los códigos o normas de calidad. En este trabajo se utilizan los códigos de la Sociedad Americana de Ingeniería Mecánica (ASME - American Society of Mechanical Engineers) para aceptar o rechazar las probetas de los ensayos.

1. **Falta de unión metalúrgica.** Esta situación se da cuando el metal de aporte y el metal base no se unen en forma integral en la soldadura. Puede ser ocasionada por una distancia excesiva o variable entre los metales bases, deficiencia en los parámetros de soldadura, como calentamiento insuficiente o irregular durante el proceso, no utilizar fundente o que este sea insuficiente, falta de fusión de disolución de los óxidos e impurezas de la superficie. El área que no se funde permite concentraciones de esfuerzos que pueden resultar en fallas sin deformación apreciable.
2. **Fundente atrapado.** Esta discontinuidad se puede encontrar en cualquier operación de soldadura brazing, donde se agrega un fundente para prevenir y eliminar la oxidación durante el ciclo de calentamiento. El fundente atrapado impide el flujo del metal de aporte hacia esa área en particular, lo que reduce la resistencia de la unión. Esto se puede dar, por ejemplo, debido a un diseño inadecuado de la junta, o cuando se unen materiales con diferentes espesores, en donde se requiere más fundente los materiales se calientan a diferentes velocidades, etc. El fundente atrapado, si es corrosivo, puede reducir severamente la vida útil. [3]

Figura 7 Fundente atrapado en la curva de retorno de una bobina.



Figura 8 Fundente atrapado debido a un diseño de la junta no adecuado.



- 3. Erosión del metal base.** Esta discontinuidad es causada por la aleación del metal de aporte con el metal base durante el proceso brazing, que da como resultado la fusión de algunos de los constituyentes del metal base, causando socavaciones o la desaparición de las superficies de contacto. Puede reducir la resistencia de la junta, cambiando la composición de los materiales y reduciendo el área de la sección transversal del metal base. [3]
- 4. Apariencia superficial insatisfactoria.** El exceso del metal de aporte y la rugosidad debido a la fusión del metal, pueden ser perjudiciales para la unión, además de las consideraciones estéticas, estos defectos pueden actuar como concentradores de tensión o como sitios de corrosión o interferir con la inspección de la soldadura. [3]

Figura 9 Muestra con acabado superficial insatisfactorio.



5. **Falta de Relleno (Vacíos, Porosidad).** La falta de relleno puede ser el resultado de una limpieza inadecuada, distancias de separación entre los metales bases excesivas, metal de aporte insuficiente, gas atrapado, temperatura insuficiente, atmósferas pobres u oxidantes, contracción por solidificación y movimiento de las superficies de contacto de la soldadura, este causado por una fijación incorrecta, mientras el metal de aporte está en estado líquido o parcialmente líquido. Este defecto reduce la resistencia de la junta al reducir el área de carga y puede proporcionar un camino para la fuga. [3]
6. **Fisuras.** Las fisuras reducen la resistencia y la vida útil de la soldadura. Pueden actuar como concentradores de tensiones, causando fallas prematuras por fatiga y disminuyendo la resistencia mecánica de la soldadura. [3]

Además de las discontinuidades anteriormente mencionadas, también puede ocurrir fisuración en frío, que se produce por falta de precalentamiento (muy común en aceros al carbono de baja aleación), en aceros duros como resultado del ciclo térmico de soldadura, o de mucho espesor. Este defecto se manifiesta por la aparición de fisuras inmediatamente, o transcurridos minutos, y en algunos casos hasta horas, después de completada la soldadura. Estas fisuras pueden presentarse en el cordón de soldadura o en la zona afectada por el calor (ZAC) del material base, que es causado normalmente por la transformación de la austenita en martensita que resulta de la rápida refrigeración del metal de soldadura. El grado de endurecimiento depende del contenido de la aleación y la velocidad de enfriamiento.

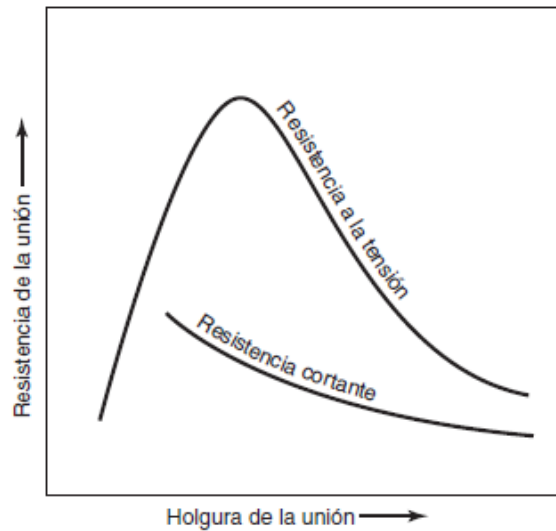
2.1.6. Parámetros de soldadura

Para poder producir uniones soldadas satisfactorias se requiere una evaluación cuidadosa e inteligente de las siguientes variables esenciales: [8] [9] [10]

1. **Metal base.** Debe conocerse la composición química de los metales a soldar.
2. **Metal de aporte.** Se selecciona, principalmente, según la compatibilidad con el metal base (según sus composiciones químicas), el diseño de la junta, los modos de calentamiento, así como la temperatura de brazing requerida, y por las condiciones de servicio de la unión soldada.
3. **Diseño de la junta y distancia de separación entre los metales bases (holgura o luz).** En general, van de 0,025 a 0,25 mm (0,002” a 0,005”), como se puede observar en la Figura 11, la misma perteneciente a la norma AWS C3.2 (Métodos Estándar para Evaluar la Resistencia de Uniones Soldadas), esta se puede usar como guía nominal para el espacio entre MB a la temperatura de soldadura brazing cuando se diseñan juntas soldadas para obtener la máxima resistencia, siendo estas variables para distintos metales de aporte. Distancias de separación menores favorecen el efecto de la capilaridad dentro de la junta, donde habrá menos probabilidades de que formen huecos o cavidades a medida que el metal de aporte se solidifica, y mayor será la resistencia cortante de la unión. La resistencia cortante de las uniones soldadas puede alcanzar 800 MPa (120 ksi) mediante aleaciones de soldadura brazing que contienen plata (soldadura de plata). Además, existe una separación óptima para lograr la máxima resistencia a la tensión. Para el metal de aporte que se va a utilizar en este trabajo, la distancia de separación va de 0,05 a 0,012 mm (50 μ m a 12 μ m).[10]

En la Figura 10 se puede observar el efecto de la distancia de separación de la unión sobre la resistencia a la tensión y cortante de uniones soldadas. Obsérvese que, a diferencia de la resistencia a la tensión, la resistencia cortante disminuye continuamente al aumentar el espacio de separación.[11]

Figura 10 Relación entre la distancia de separación entre los MB y las resistencias cortante y a la tensión.[11]



4. Fundente. Cuando se selecciona un fundente, este debe cubrir completamente las superficies de unión de la junta, poseer una consistencia adecuada, y debe ser fácil de remover al finalizar la soldadura, debido a la posibilidad de causar corrosión en ciertos entornos mientras está en servicio. La consistencia depende de los tipos de óxidos presentes, así como del ciclo de calentamiento, en el caso de óxidos ferrosos formados durante el calentamiento rápido del metal base, son suaves y fáciles de eliminar.

Un recubrimiento de fundente en la zona de la unión protege las superficies de la acción del aire y así evita la formación de óxido. También disuelve y absorbe los óxidos que se forman durante el calentamiento o que no se eliminaron completamente en el proceso de limpieza.

5. Atmosfera de protección. Se debe usar en el caso donde no se utilice fundente, o si el fundente es cambiado, se deberá volver a definir si requiere o no gas de protección. La utilización de una atmosfera de protección nos evita posibles problemas de corrosión y óxidos, y también elimina el costo del fundente y la posterior limpieza de los residuos dejados por el mismo.

6. Temperatura de soldadura brazing. Depende principalmente de las propiedades físicas del metal base y el metal de aporte. La temperatura que debe alcanzar la unión debe ser suficiente para fundir el metal de aporte. El metal líquido moja al metal base llenando todas las cavidades. En el caso de usar aceros de baja aleación, se puede usar un metal de

aporte con una temperatura de soldadura inferior a la temperatura crítica del acero, cuando no se especifica ningún cambio en las propiedades metalúrgicas del metal base.

- 7. Tratamiento térmico post-soldadura.** El requerimiento de un post-tratamiento queda dependiente del metal base que se debe soldar y de la temperatura de trabajo. Se requiere este post-calentamiento para minimizar el efecto de fragilización en frío y alivio de tensiones.

Figura 11 Separaciones recomendadas según el metal de aporte. [2], [3]

Filler Metal AWS Classification^a	mm	in.	Joint Clearance^b
BAISI Group	0.15–0.25	0.006–0.010	For length at lap less than 6.35 mm (1/4 in.)
	0.25–0.6	0.010–0.025	For length at lap greater than 6.35 mm (1/4 in.) mm)
BCuP Group	0.03–0.12	0.001–0.005	—
BAG Group	0.05–0.12	0.002–0.005	Flux brazing (mineral fluxes)
	0.03–0.05	0.001–0.002 ^c	Atmosphere brazing (gas-phase fluxes)
BAu Group	0.05–0.12	0.002–0.005	Flux brazing (mineral fluxes)
	0.00–0.05	0.000–0.002 ^c	Atmosphere brazing (gas-phase fluxes)
BCu Group	0.00–0.05	0.000–0.002 ^c	Atmosphere brazing (gas-phase fluxes)
BCuZn Group	0.05–0.12	0.002–0.005	Flux brazing (mineral fluxes)
BMg Group	0.10–0.25	0.004–0.010	Flux brazing (mineral fluxes)
BNI Group	0.05–0.12	0.002–0.005	General applications (flux or atmosphere)
	0.00–0.05	0.000–0.002	Free-flowing types (atmosphere brazing)

- a. Key:
 BAISI—Aluminum BCuP—Copper phosphorus
 BAG—Silver base RBCuZn—Copper zinc
 BAu—Gold base BMg—Magnesium base
 BCu—Copper BNI—Nickel base
- b. Clearance on the radius when rings, plugs, or tubular members are involved. On some applications it may be necessary to use the recommended clearance on the diameter to assure not having excessive clearance when all the clearance is on one side. An excessive clearance will produce voids. This is particularly true when brazing is accomplished in a high-quality atmosphere (gas-phase fluxing).
- c. For maximum strength, a press fit of 0.03 to 0.05 mm/mm (0.001 to 0.002 in./in.) of diameter should be used.

Otras variables a tener en cuenta y que influyen en el resultado del proceso de soldadura:

- 1. Tiempo de soldadura.** Es una variable que depende de la temperatura de soldadura de brazing y de las dimensiones de las piezas a unir, y también de la velocidad de fusión del metal de aporte.
- 2. Limpieza.** Es importante que la superficie de los metales antes y después de soldar estén limpias, para minimizar los efectos de corrosión, escoria y residuos dejados por el procedimiento. Se puede usar limpieza química, para eliminación de aceites, grasas, etc., o mecánica con cepillos.

2.2. Materiales utilizados en la soldadura

Los materiales utilizados en el brazing (metales básicos o materiales, metales de aporte, atmósferas y fundentes) son interdependientes y deben seleccionarse en función de su capacidad para formar uniones soldadas con las características mecánicas y físicas requeridas para la aplicación de servicio prevista. [2]

2.2.1. Acero AISI – SAE 4140

Es un acero de alta resistencia tratable térmicamente, cuya composición química se presenta en la Tabla 2, se utiliza en aplicaciones que requieren una combinación de endurecimiento moderado, buena resistencia y adecuada tenacidad. Este rango de composición química se encuentra listado en la norma ASTM-A519-17. [12]

Se utilizan en la fabricación de bielas, cigüeñales, trépanos de perforación y partes de bombas entre otros. Esta amplia variedad en las propiedades se logra dependiendo de la composición química y de la microestructura presente, que a su vez depende de los tratamientos térmicos que se le pueda realizar.

Su resistencia a la tracción puede llegar hasta los 1650 MPa luego de templado y revenido; puede utilizarse a temperatura de hasta 480°C. Su resistencia disminuye rápidamente con el aumento de la temperatura y es propenso a fragilización por hidrógeno que puede generarse por decapado ácido o electrodeposición de cromo. [12] [13]

Composición Química (wt%)											
AISI/SAE	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Ni	Cu	Al	Ti
4140	0,38-0,43	0,75-1	0,040	0,040	0,15-0,35	0,8-1,1	0,15-0,25	-	-	-	-

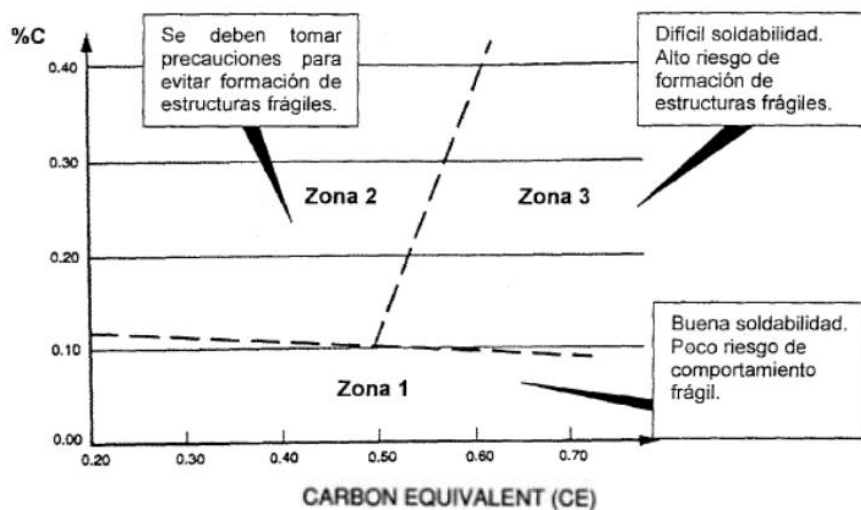
Tabla 2 Composición química del Acero AISI – SAE 4140. [12]

Como se mencionó anteriormente, este metal es propenso a sufrir de discontinuidades tipo fisuras, por lo que normalmente se utiliza el indicador de carbono equivalente (CE) con el cual se puede evaluar la templabilidad o soldabilidad del metal base. Existen varias fórmulas, una de las más utilizadas es la del Instituto Internacional de Soldadura (IIW, International Institute of Welding), inicialmente propuesta por Dearden y O`Neil en 1940, donde se tiene en cuenta la composición química del acero, expresada en porcentajes de masa:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (1)$$

Esta ecuación puede utilizarse cuando el contenido de carbono sea superior a 0,18%, o cuando las condiciones de soldeo requieran tiempos de enfriamientos lentos, mayores a 12 segundos. Con el valor del CE y del %C del acero, se localiza un punto dentro de alguna de las zonas en el Diagrama de Graville, Figura 12, esto permite evaluar la necesidad de un precalentamiento o tratamiento térmico post soldadura (sin considerar el espesor del material).

Figura 12 Diagrama de Graville.



De acuerdo a la zona en que salga el punto, se tendrán los siguientes criterios:

- **Si el metal base se encuentra en la zona I:** El riesgo de fisuración es casi improbable.
- **Si el metal base se encuentra en la zona II:** corresponde a aceros con mayor %C y bajo endurecimiento, el riesgo a fisuras en la ZAC puede ser evitado mediante el control de la velocidad de enfriamiento, por medio del aporte térmico o en menor extensión el precalentamiento.
- **Si el metal base se encuentra en la zona III:** se deben aplicar procesos de bajo hidrógeno, precalentamiento y tratamientos térmicos post soldadura. Esta zona corresponde a aceros con alto %C y alto CE, es decir, son precisamente los aceros con más dificultad para soldar por su elevada tendencia a la fisuración en frío. El acero AISI 4140 se encuentra en esta zona.

Considerando que estamos evaluando la soldadura brazing y que el metal base a utilizar es acero AISI 4140, se utilizará un precalentamiento para disminuir la velocidad de enfriamiento y evitar la formación de martensita en la zona afectada por calor, y a su vez, vamos a proceder a emplear los métodos recomendados para determinar los parámetros de soldadura que nos brinden un menor riesgo de formación de estructuras frágiles, ver 2.1.6.

2.2.2. Carburo de Tungsteno (CW)

Los carburos son una clase de materiales cerámicos que tienen gran interés para la comunidad científica debido a sus excepcionales propiedades mecánicas, físicas, químicas e incluso biológicas. Es por eso, que los carburos son la base de cerámicos avanzados que tienen numerosas aplicaciones como en la industria de herramientas, ingeniería mecánica, óptica, electrónica, tecnología nuclear, industria química y muchas otras aplicaciones recientes. [14]

El carburo de tungsteno o carburo de wolframio, es considerado uno de los más eficientes materiales cerámicos en combinación con alguna matriz metálica o como un carburo cementado gracias a su combinación única de propiedades como alto módulo de Young, (550 Gpa), alto punto de fusión (2870 °C), alta dureza (aproximadamente de 1200 a 2400 HV), alta densidad (15.63 g/cm³) y una excelente resistencia a la corrosión y desgaste. En estudios recientes se ha observado que existe una estrecha relación entre las propiedades de las partes manufacturadas y el tamaño de las partículas de WC. Cuando las partículas son finas la dureza y la tenacidad aumentan alargando la vida y el desempeño de los componentes. [14]

Pertenciente al grupo de los carburos, este material también es conocido como “Widia”, un término que proviene de la expresión alemana “*wie diamant*” (como el diamante), y está presente en un gran número de procesos de corte mecanizado dentro del sector industrial. Frente a los metales duros tiene la ventaja de mantener su dureza incluso a elevadas temperaturas.

2.2.3. Metal de aporte y fundente

El metal de aporte es el término utilizado, en la soldadura, para describir al material (o metal elemental) que forma la junta. Se coloca entre dos (o más) componentes (los materiales bases) y, al tener un punto de fusión más bajo que ellos, se funde y se deja solidificar, formando la unión de la soldadura. [15]

La función del metal de aporte, es alearse con la superficie del metal base sin causar efectos perjudiciales como los siguientes: [2]

1. Difusión indeseable en el metal base.
2. Dilución con el metal base.
3. Erosión de metales base.
4. Formación de compuestos frágiles.

Los tres primeros, que afectan al metal base, dependen de la solubilidad mutua entre el metal de aporte y el metal base, la cantidad de metal de aporte presente en la soldadura, y de la temperatura y duración del ciclo de soldadura brazing. [2]

Algunos metales de aporte se difunden excesivamente, lo que cambia las características de difusión y dilución del metal base. Para controlar la difusión, el soldador debe seleccionar un metal de aporte adecuado, aplicar la cantidad mínima de metal de aportación y seguir el ciclo de soldadura brazing correspondiente. [2]

Cuanto más eficientemente moje el metal de aporte al metal base, mejor será el flujo capilar. En capilares largos entre las superficies metálicas, la solubilidad mutua puede cambiar la composición del metal de relleno mediante la aleación. Esto generalmente aumentará la temperatura del líquido y hará que se solidifique antes de llenar completamente la junta. [2]

Los metales de aporte de soldadura deben tener las siguientes propiedades:

1. Compatibilidad con el metal base y el diseño de la unión. [16]
2. Un punto de fusión o rango de fusión compatible con los metales base que se unen, y tener suficiente fluidez a la temperatura de soldadura, para fluir y distribuir la masa fundida en las juntas preparadas adecuadamente por acción capilar. [2]
3. Una composición con la homogeneidad y estabilidad suficiente, para minimizar la separación de los componentes durante la soldadura. [2]
4. La capacidad de humedecer superficies de los metales bases y formar una unión fuerte y sólida. [2]
5. La capacidad de producir o evitar interacciones entre el metal de aporte y el metal base, según los requisitos. Los metales de aporte se fabrican en innumerables formas, para adecuarse a diversas aplicaciones. Algunos ejemplos se muestran en la Figura 13. [2]

6. Requisitos de servicio de la unión soldada. La composición elegida debe satisfacer los requisitos de operación, como temperatura de servicio (alta o criogénica), ciclos térmicos, vida útil, esfuerzos de carga, condiciones corrosivas, estabilidad ante radiaciones y operación en vacío. [16]
7. Temperatura de soldadura brazing requerida. En general, se prefieren bajas temperaturas de soldadura brazing a fin de economizar energía calorífica, minimizar los efectos térmicos sobre el metal base (recocido, crecimiento de granos, deformación), minimizar la interacción metal base-metal de aporte y prolongar la vida útil de las fijaciones y otras herramientas. Se usan temperaturas de soldadura brazing altas cuando se desea: utilizar un metal de aporte con punto de fusión más alto pero que resulta más económico; combinar con la soldadura brazing el recocido, la liberación de tensiones o el tratamiento térmico del metal base; realizar un procesamiento subsecuente a temperatura elevada, promover las interacciones metal base-metal de aporte a fin de elevar la temperatura de fusión de la unión; o promover la eliminación de ciertos óxidos refractarios al vacío o con una atmósfera especial. [16]
8. Método de calentamiento. Los metales de aporte con intervalos de fusión angostos de menos de 28 °C entre *solidus* y *liquidus*, pueden usarse con cualquier método de calentamiento, y el metal de aporte de soldadura brazing se puede colocar previamente en el área de la unión en forma de anillos, rondanas, alambres moldeados, calzas, polvo o pasta.[16]
9. Requisitos legales y reglamentaciones: ciertos elementos están prohibidos en determinadas aplicaciones, por ejemplo, se prohibió el uso de soldaduras que contienen cadmio en equipos de las industrias láctea, alimentaria y farmacéutica, debido a que el cadmio puede ingresar al organismo por vía respiratoria, digestiva o dérmica, pudiendo provocar desde fiebre, vómitos o enfermedades renales hasta cáncer de pulmón, incluso desde antes de la prohibición europea generalizada introducida en 2012 [16]. En el caso de Argentina, la exposición al cadmio y sus consecuencias está incluido en la Resolución SRT N°81/19 en su Anexo I – Listado de sustancias, agentes y circunstancias de exposición cancerígenos.[17][18]

- 10. Toxicidad:** la presencia de ciertos elementos dentro de los materiales para su uso en aplicaciones biomédicas no está permitida debido a preocupaciones de toxicidad, como por ejemplo el cadmio mencionado anteriormente. [15]

Figura 13 Diversas formas de metal de aporte. [2]



La eliminación de óxido es una parte importante del proceso de soldadura brazing. Esto a menudo se logra con un fundente, formado por una mezcla de compuestos químicos complejos que se funde durante el proceso de soldadura y forma una capa sobre la junta, reaccionando con los óxidos y eliminándolos de las superficies de unión. En términos generales, los fundentes no son necesarios para este proceso cuando se cuenta con atmósfera reductora o al vacío, pero son necesarios cuando se realizan al aire. Cuando se sueldan ciertos materiales con el proceso brazing, como el aluminio, se puede realizar en vacío de una manera descrita como “sin fundente”, pero esto requiere la presencia de magnesio (ya sea en el metal de aporte, en el material base o como magnesio elemental en el horno) que actúa como un captador de oxígeno y rompe la capa de óxido de aluminio. Los fundentes no son impermeables y, por lo tanto, no evitan la oxidación de la superficie, pero continuarán reaccionando y eliminando los óxidos formados por la difusión de oxígeno a través de la capa. Los materiales fundentes pueden tener una amplia gama de propiedades, que requieren coincidir con la operación de soldadura brazing.

Los contaminantes de la superficie, como aceite, grasa, lubricantes, suciedad y capas de óxido, inhiben la humectación y el flujo capilar del metal de aporte, evitando que el fundente actúe correctamente. Si bien es ampliamente aceptado en la soldadura brazing que la limpieza de la superficie es primordial para garantizar una unión de alta calidad, ha habido poca investigación técnica de estos efectos.[15]

2.2.3.1. Diagrama de Fases Ag-Zn-Cu y Microestructuras

Para este trabajo se utilizó un metal de aporte compuesto de aleaciones del sistema Ag-Cu-Zn, las cuales son bien conocidas por sus buenas características y se han utilizado en varias industrias como metal de relleno para brazing durante décadas, especialmente cuando se necesita ductilidad. También se han utilizado ampliamente para unir diversos metales y aleaciones ferrosos y no ferrosos, como la soldadura brazing de cermets de Ti(C,N) con hierro o acero. El sistema Ag-Cu-Zn representa la base para aleaciones cuaternarias o multicomponente con Sn, Ni, In, Ga como metales de aleación adicionales. Esta familia de aleaciones es particularmente adecuada para la sustitución de aleaciones de brazing de plata que contienen cadmio, cuyo uso está prohibido por razones toxicológicas, mencionado anteriormente en esta sección. A pesar del alto precio, la plata todavía se usa ampliamente como un elemento de aleación beneficioso en soldaduras o metales de aporte para brazing.[19]

En la Figura 15, se muestra el diagrama de fases ternario Ag-Zn-Cu construido a 600 °C, en el cual se observan 19 regiones de fases distintas, de las cuales 7 son regiones monofásicas ((Ag), (Cu), dos β , γ , ϵ , y Líquido), 9 son las regiones bifásicas ((Ag) + (Cu), Ag + β , (Cu) + β , las dos β + γ , γ + ϵ , β + ϵ , β + Líquido y ϵ + Líquido) y 3 son las regiones trifásicas ((Ag) + (Cu) + β , β + ϵ + γ , β + ϵ + Líquido) [19], [20].

A fin de poder analizar la microestructura esperada para el metal de aporte que se utilizó en este proyecto, en la Figura 15 dentro del diagrama de fases, se muestra la composición número 5, corresponde a Ag 55wt%, Zn 20wt% y Cu 25wt%, cuyos porcentajes en peso son muy similares al del metal de aporte utilizado en este trabajo.

Figura 14 Diagrama de fases ternario Ag-Cu-Zn isotérmico a 600°C.[21]

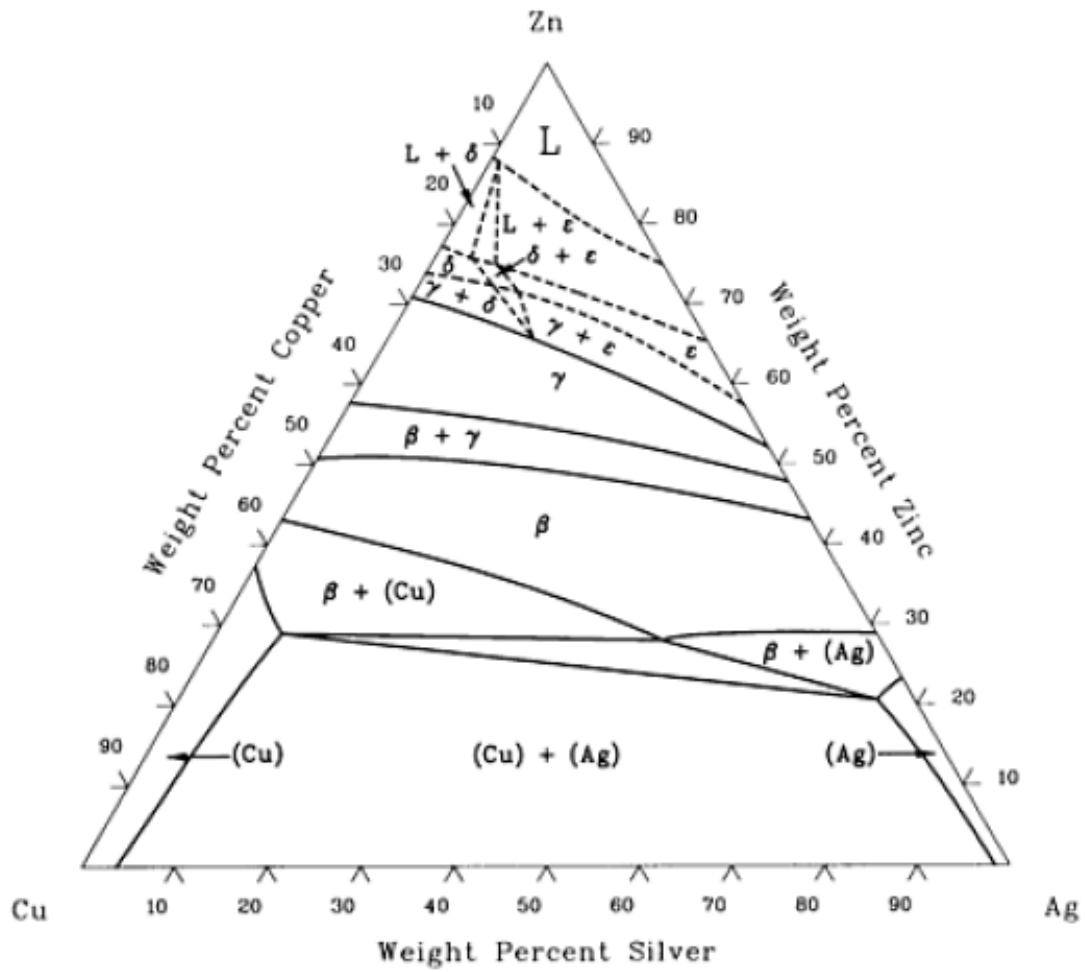
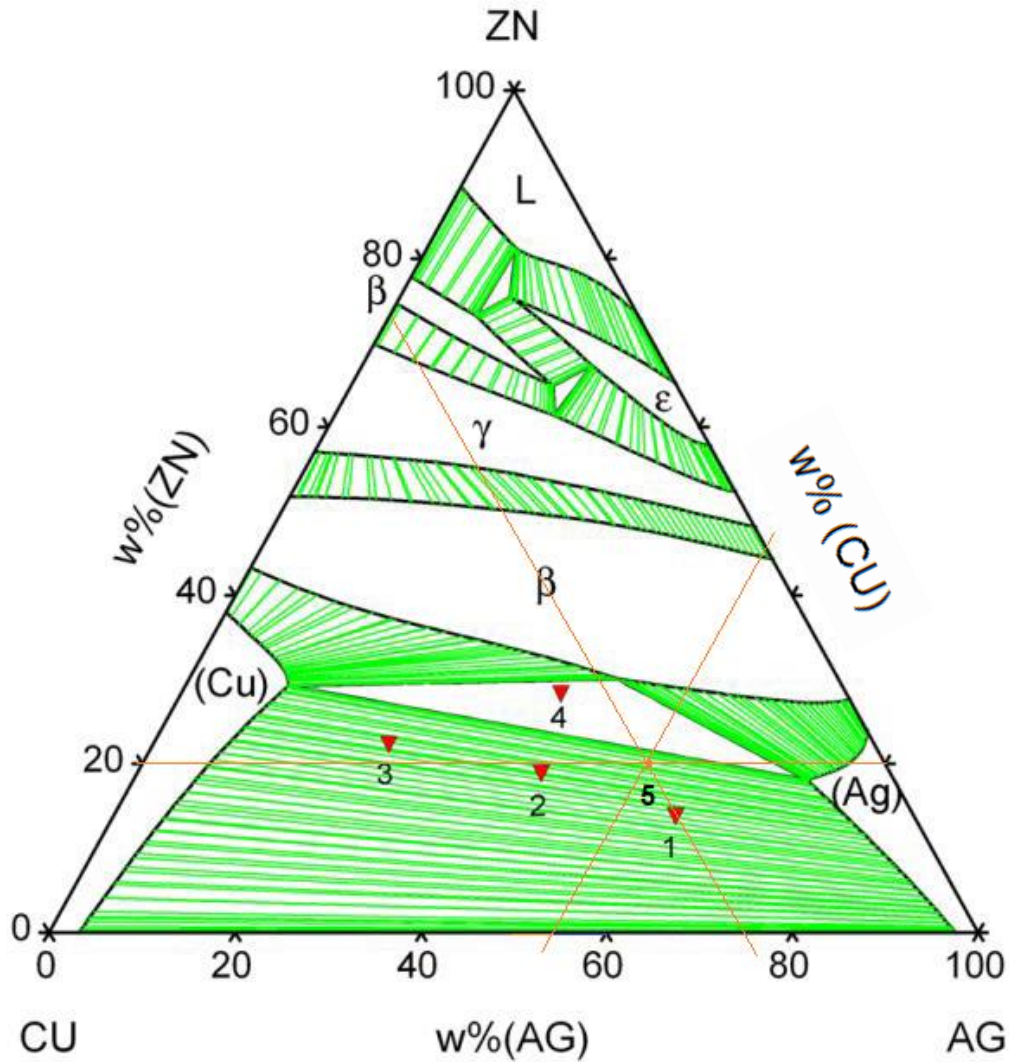


Figura 15 Diagrama de fases ternario Ag-Cu-Zn a 600 °C y composiciones de fases de equilibrio de las muestras: (1)Ag 60.5-Cu 25.8-Zn 13.7, (2)Ag 43.5-Cu 37.7-Zn 18.8, (3)Ag 25.4-Cu 52.4-Zn 22.2, (4)Ag 40.9-Cu 30.8-Zn 28.3 y (5)Ag 55-Zn 20-Cu 25 (% en peso). [19]



La microestructura de la composición 1, que se muestra en la Figura 16 (a) y (b), posee dos regiones distintas, en las cuales se observa la microestructura eutéctica gruesa y fina (clara = fase (Ag), oscura = fase (Cu)). Esta microestructura resultó así debido a las condiciones de solidificación y el camino de solidificación a través de $L \rightarrow (Cu)$ seguido de la reacción eutéctica $L \rightarrow (Ag) + (Cu)$. La morfología de laminillas finas (Cu) se obtuvo durante la solidificación de la fase (Cu) en estado fundido. [19]

Para la composición 2, se puede ver en la Figura 16 las microestructuras (c) y (d), que aunque esa aleación sigue el mismo camino de solidificación que la composición 1, se obtuvo

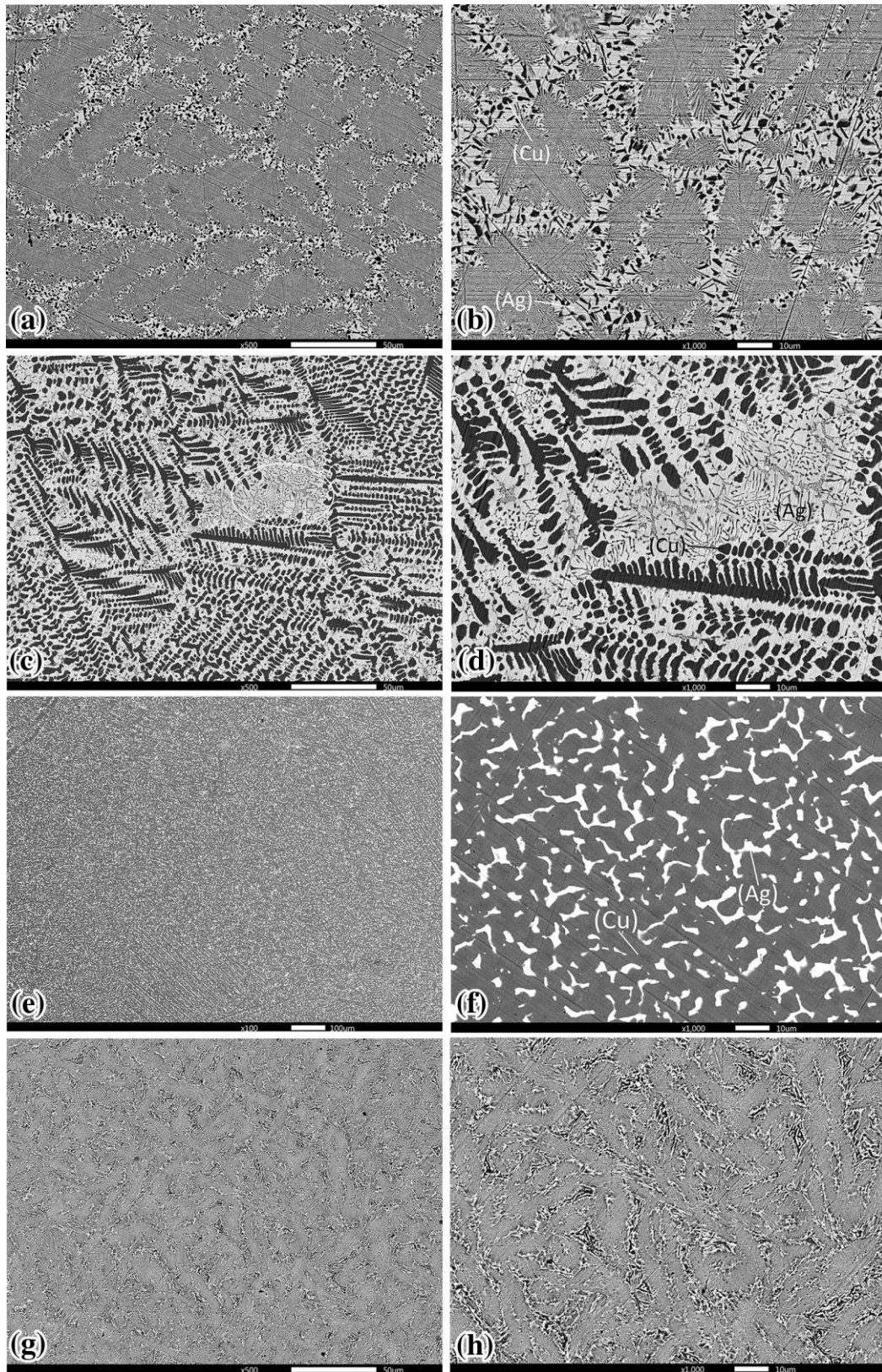
una microestructura diferente. Están presentes dos fases estables, (Ag) como matriz y fase (Cu) en forma de dendritas, con las pequeñas áreas de estructura eutéctica acicular (arriba a la derecha, área marcada, en la Figura 16 (c)). La razón por la que la evolución dendrítica para la composición 1 no se completó podría ser el rango de solidificación mucho más corto, especialmente para la reacción $L \rightarrow (Cu)$. La degeneración de las dendritas de la composición 2 después del proceso de recocido es obvia, como se muestra en la Figura 16 (c) y (d). [19]

La composición 3 posee una estructura más homogénea, como se muestra en la Figura 16 (e). La microestructura de esta composición, que se observa en la Figura 16 (f), consta de dos fases, la fase primaria oscura (Cu) y la fase brillante (Ag). Se puede ver que la fracción de fase de (Cu) es mucho mayor que la fracción de fase correspondiente a la fase (Ag). Los granos de (Ag) están incrustados homogéneamente en la matriz de (Cu). [19]

La imagen SEM con menor aumento, que se observa en la Figura 16 (g), muestra una distribución homogénea de las fases para la composición 4. En la Figura 16 (h), se puede ver que la microestructura se obtuvo mediante la reacción peritética $L + (Cu) \rightarrow \beta$ seguida de la eutéctica $L \leftrightarrow (Ag) + (Cu) + \beta$. [19]

La microestructura esperada para la composición 5 se parecería a la mostrada en la Figura 16 (a) y (b), correspondiente a la composición 1, sería microestructura eutéctica con fases Ag y Cu creciendo en borde de grano.

Figura 16 Micrografías SEM de las muestras (a, b) 1, (c, d) 2, (e, f) 3 y (g, h) 4.



CAPÍTULO III

Materiales y Técnicas Experimentales

3. Desarrollo Experimental

3.1. Material Analizado

Como metal base se utilizaron mordazas de baja aleación, con espacios para el alojamiento de insertos de carburo de tungsteno (CW). Los alojamientos para los insertos, fueron realizados mediante mecanizado y presentan una inclinación y/o ángulo. La Figura 17 y Figura 18 muestran un esquema de las mordazas, con doce alojamientos para los insertos, de los cuales, solo se dispuso a soldar la zona donde los alojamientos presentan inclinación.

Se empleó como metal de aporte varillas de aleación de plata, libres de cadmio, de diámetro 2,00x500 mm de la marca FONTARGEN A314, y se utilizó el fundente en pasta F300 H ULTRA NT, de la misma marca.

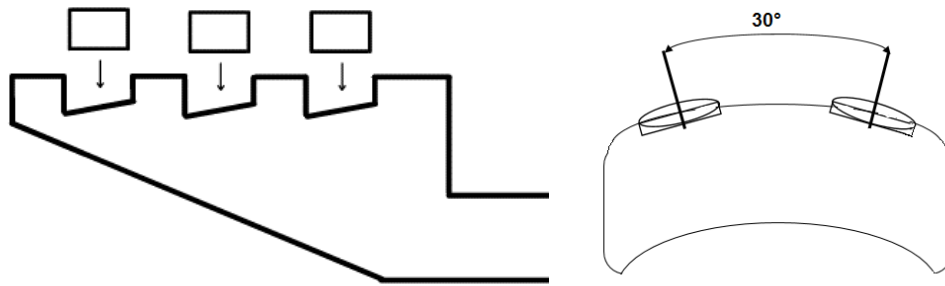
La fuente de calor fue mediante torcha con gas oxiacetilénico. Se soldaron cuatro mordazas, las mismas fueron realizadas por un único operador.

Las tareas de caracterización de las probetas, se realizaron en el Laboratorio de Metalografía y Soldadura (LMyS) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue (UNCo).

Figura 17 Esquema de la mordaza.



Figura 18 Vistas lateral y frente de las muestras a soldar.



3.2. Realización de la soldadura

El procedimiento para la realización de la soldadura brazing consistió de los siguientes pasos:

	Procedimiento para las Mordazas M1	Procedimiento para las Mordazas M2
1	Limpieza de la superficie de la soldadura con acetona.	Limpieza de la superficie de la soldadura con acetona.
2	Colocación del fundente sobre la superficie de soldadura.	Colocación del fundente sobre la superficie de soldadura.
3	Pre calentamiento de las mordazas e insertos en un horno con calentamiento por llama a 260°C.	Pre calentamiento de las mordazas e insertos en un horno eléctrico a 260°C.
4	Soldadura: se colocaron los insertos de CW sobre los alojamientos y se procedió a soldar con las varillas del metal de aporte.	Soldadura: se colocaron los insertos de CW sobre los alojamientos y se procedió a soldar con las varillas del metal de aporte.
5	Enfriamiento al aire.	Enfriamiento lento de las probetas soldadas dentro del horno apagado.
6	Limpieza final con cepillo, para retirar el fundente residual y el óxido producido luego del brazing.	Limpieza final con cepillo, para retirar el fundente residual y el óxido producido luego del brazing.

3.3. Caracterización y técnicas experimentales utilizadas

3.3.1. Determinación de la composición química.

Para determinar la composición química del metal base se utilizó la técnica de espectrometría de emisión óptica. Este ensayo fue realizado utilizando un espectrómetro de chispa, perteneciente al Área de diseño de este Departamento. Marca: Oxford Instruments - Modelo: Espectrómetro FOUNDRY-MASTER Pro - Programa Matriz PMP Fe-000-T Orientation UVTouch, ver Figura 19.

Figura 19 Espectrómetro de chispa marca FOUNDRY-MASTER Pro.



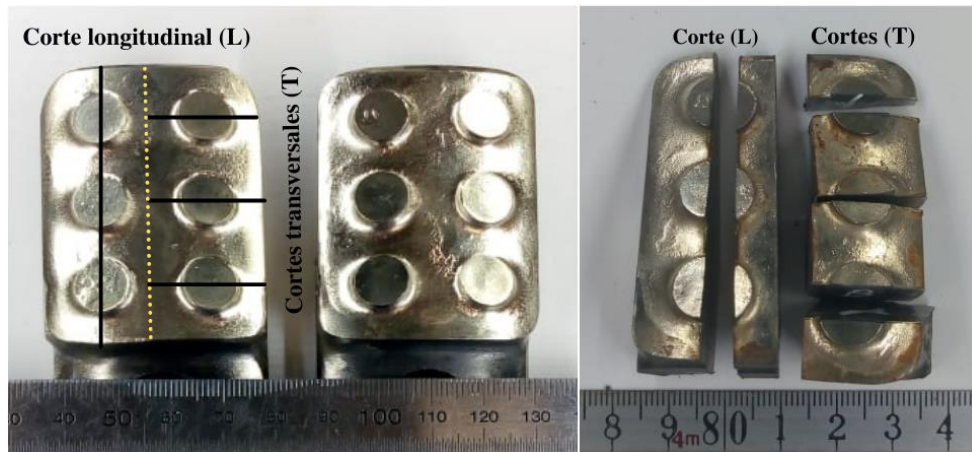
3.3.2. Inspección visual

Se realizó un examen visual de las probetas obtenidas. En esta etapa se evaluó si la soldadura presentaba adherencia a la superficie metálica. Los análisis se realizaron asegurándose de que la muestra esté libre de defectos superficiales como fisuras o porosidad, desalineado o mal ajuste de la unión, y daño por calor al metal base.

3.3.3. Obtención de las probetas metalográficas

Se obtuvieron probetas con orientación transversal y longitudinal, la Figura 20 muestra los cortes y la identificación utilizada. El corte se realizó mediante cortadora metalográfica refrigerada y las probetas son incluidas en una resina acrílica para su preparación.

Figura 20 Cortes realizados en las soldaduras para la preparación de las probetas.



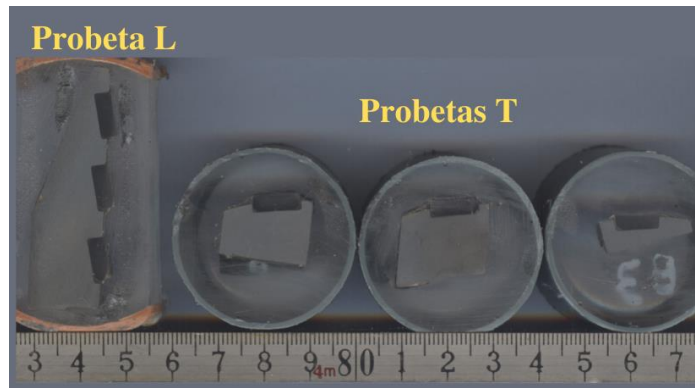
3.3.4. Preparación metalográfica de las muestras y caracterización macroscópica.

La preparación metalográfica se realizó de acuerdo a la norma ASTM E3-11(2017). [22] Para el pulido mecánico se utilizó un sistema de disco diamantado de grano 80 – 120 y 1200, posteriormente se realizó un pulido fino con pasta de diamante de $1\mu\text{m}$, para obtener el acabado espejo de las probetas. En la Figura 21 se muestran las probetas terminadas.

La macrografía permite evaluar la presencia de metal de aporte entre los elementos a unir y las discontinuidades. Los criterios de aceptación son los indicados en la Sec. ASME IX QW-183/184. [9]

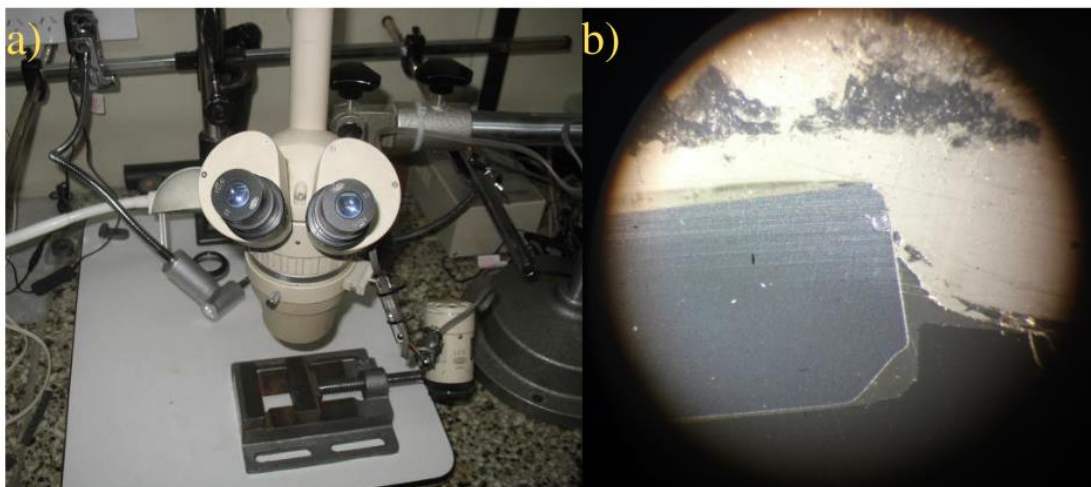
La micrografía permite determinar la interface de unión, medir el espesor del metal de aporte y las discontinuidades no relevadas por la técnica anterior.

Figura 21 Probetas obtenidas.



En la Figura 22, muestra las imágenes macroscópicas obtenidas mediante lupa estereoscópica.

Figura 22 a) Lupa estereoscópica utilizado para la adquisición de las imágenes macrográficas. b) Macrográficas de una probeta.



3.3.5. Caracterización de la microestructura mediante microscopía óptica

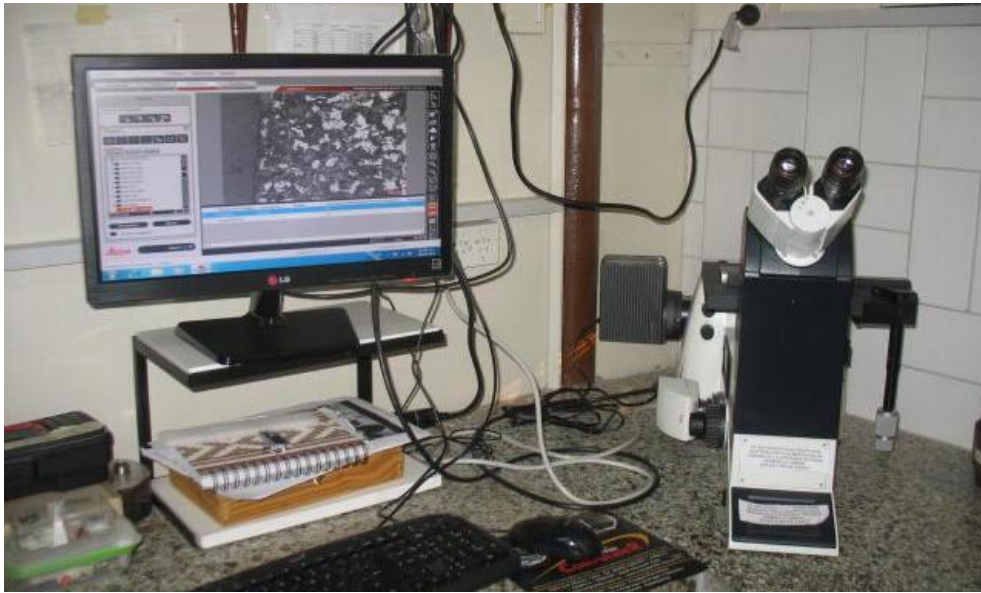
Para revelar la microestructura presente en el metal base se utilizó como reactivo de ataque una solución de Nital 4%, compuesta por 96 ml de alcohol etílico y 4 ml de ácido nítrico al 96%. [23]

Para el ataque se sumergió la probeta en el mismo durante 10 s, se la extrajo, se la enjuagó con agua, luego con alcohol y finalmente se secó con aire caliente.

En esta etapa se procedió con la medición de la holgura entre los metales, la visualización de defectos como porosidad, escoria atrapada u óxidos, la falta de penetración o difusión del

metal de aporte, la determinación de la microestructura presentes en el metal base (MB), en el metal de soldadura (MS) y en la zona afectada por calor (ZAC), entre otros. Para la observación se empleó un microscopio óptico LEICA DMI 3000 M con sistema incorporado de digitalización de imágenes, presente en el LMTyS de la UNCo, que se muestra en la Figura 23. [13]

Figura 23 Microscopio óptico marca LEICA DMI 3000.



3.3.6. Medición de la microdureza

Se realizaron ensayos de microdureza Vickers sobre las probetas preparadas para los ensayos metalográficos. Se utilizó una carga de 1000 gr y un tiempo de aplicación de 10 s, de acuerdo a la norma ASTM E384-17 (2021). [24]

Se realizaron barridos de microdureza en los insertos CW, en el acero y en el metal de aporte de las probetas. Se utilizó un microdurómetro digital marca Future-Tech modelo FM-700 perteneciente al LMTyS, de la UNCo. En la Figura 24 se muestra el equipo utilizado.

Figura 24 Microdurómetro Future-Tech modelo FM-700 utilizado.



3.3.7. Microscopía electrónica de barrido.

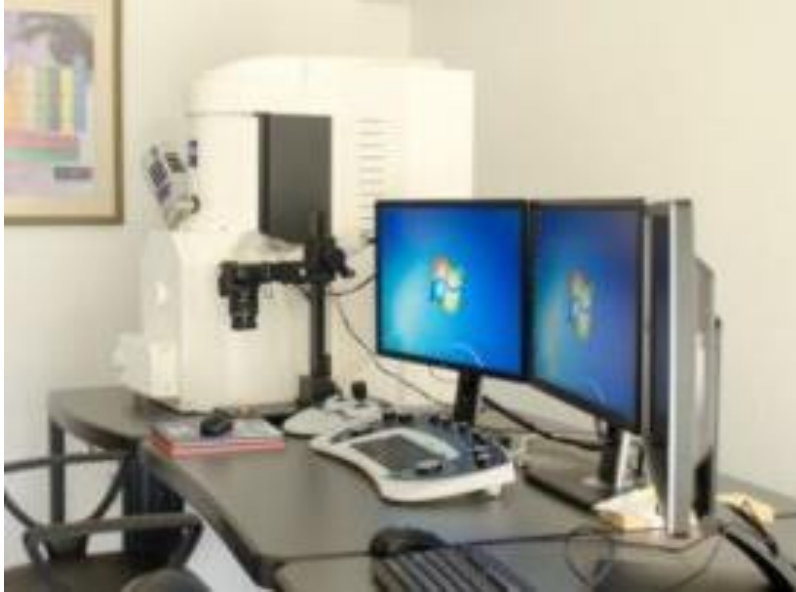
Mediante el análisis por microscopía electrónica se determinó la composición química que posee cada muestra y las zonas donde se produjo difusión, para el mismo, se utilizó un microscopio electrónico de barrido (SEM –Scanning Electron Microscope), marca Zeiss, modelo EVO-MA 15 equipado con espectrómetro para microanálisis químico semicuantitativo por energía dispersiva (EDS –Energy Dispersive Spectrometry) marca Oxford, modelo X-MaxN, perteneciente al Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido y Difracción de Rayos X del IIPG (Instituto de Investigación de Paleobiología y geología) de la Universidad Nacional de Rio Negro (UNRN), ver Figura 25.[25]

En la microscopía electrónica de barrido, las composiciones químicas de características microestructurales seleccionadas están determinadas por interacciones de haces de electrones de alta energía, que hacen que los electrones de la capa interna de los diversos átomos sean expulsados con la liberación de energías de rayos X y longitudes de onda características de los átomos.

En el SEM Zeiss EVO 15 se cuenta con dos detectores de electrones secundarios (SE), un detector de electrones retrodispersados (BSE), un detector de cátodoluminiscencia (CL) y un espectrómetro de energía dispersiva (EDS). Los detectores de SE y BSE respectivamente permiten generar imágenes de la superficie y/o de las diferencias composicionales de cualquier

sólido, alcanzando magnificaciones nanométricas. El detector de CL es útil en la caracterización de materiales similares, pero con sutiles diferencias en su composición química.[25]

Figura 25 Equipo SEM Zeiss EVO 15 utilizado.



CAPÍTULO IV

Resultados y discusiones

En este capítulo se presentan los resultados de las técnicas experimentales realizadas a las mordazas soldadas.

4.1. Resultado de la inspección visual y de las macrografías

La Tabla 3 muestra los resultados de la inspección visual, donde se evaluó superficialmente si las probetas presentaban falta de metal de aporte, falta de fusión alrededor de los insertos, teñido térmico en el metal base, entre otras.

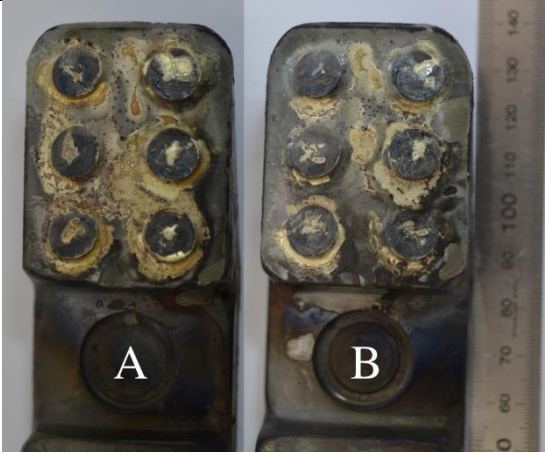
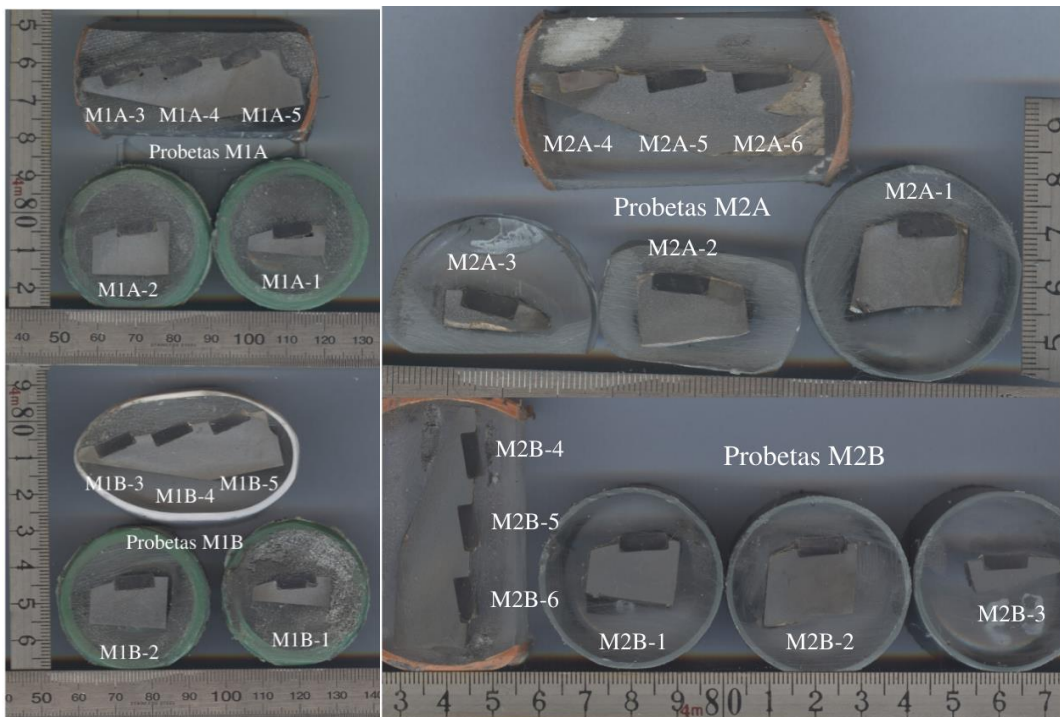
NÚMERO DE MUESTRA	OBSERVACIONES
M1	 <p>Se evidencia una falta de metal de aporte alrededor de los insertos y falta de fusión con el metal base.</p> <p>El metal base presenta acabado superficial insatisfactorio, daños por calor, como teñido térmico y salpicaduras.</p>

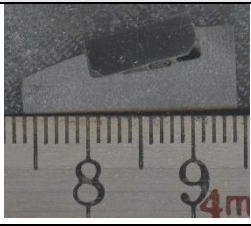
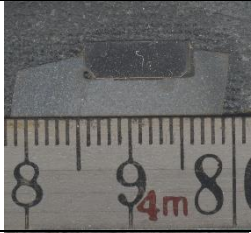
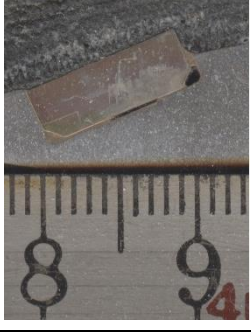
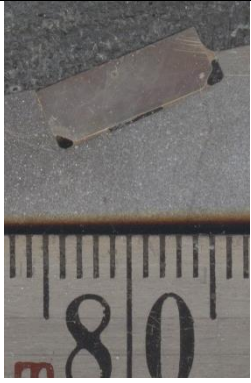


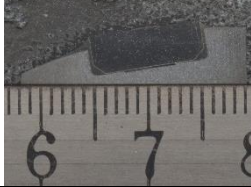

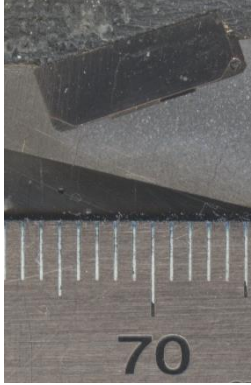
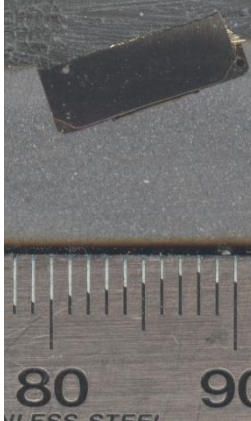
Tabla 3 Inspección visual de las muestras.

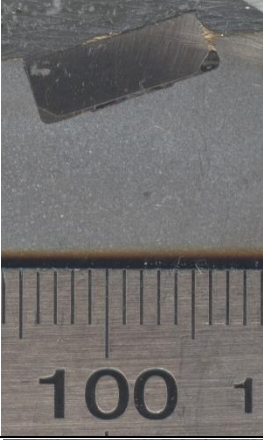



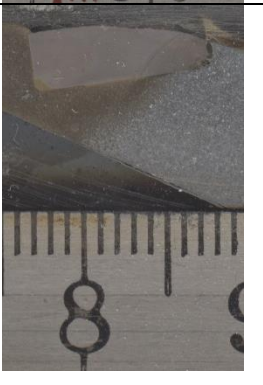
Para cada muestra, se prosiguió con obtención de las probetas, se realizaron los cortes longitudinales y transversales, obteniendo en total 14 probetas, como se puede observar en la Figura 26. A continuación, estas probetas se prepararon metalográficamente para la caracterización por macrografía. En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de las macrografías y las figuras asociadas a cada probeta.

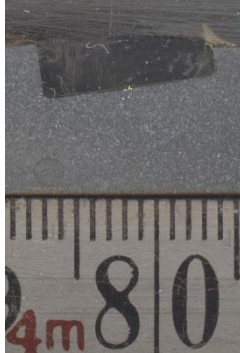

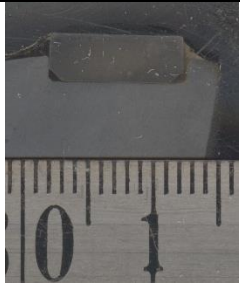
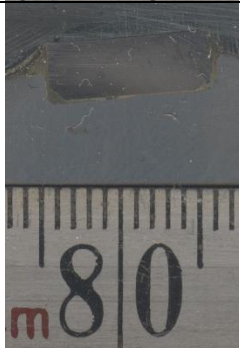
Figura 26 Probetas preparadas.



NÚMERO DE MUESTRA	OBSERVACIONES	
M1A-1		<p>Falta de soldadura alrededor del inserto. Gran porosidad en el metal de aporte. Diferencia en el espesor del metal de aporte en la base del inserto.</p>
M1A-2		<p>Falta de soldadura alrededor del inserto. Porosidad en el metal de aporte. Discontinuidad en el diseño de la junta del alojamiento del inserto.</p>
M1A-3		<p>Falta de soldadura alrededor del inserto. Porosidad en 2 sectores del metal de aporte. Diferencia en el espesor del metal de aporte en la base del inserto. Discontinuidad en el diseño de la junta del alojamiento del inserto.</p>
M1A-4		<p>Falta de soldadura alrededor del inserto. Porosidad en 3 sectores del metal de aporte. Diferencia en el espesor del metal de aporte en la base del inserto. Discontinuidad en el diseño de la junta del alojamiento del inserto.</p>

<p>M1A-5</p>		<p>Falta de soldadura alrededor del inserto. Porosidad en 3 sectores del metal de aporte. Diferencia en el espesor del metal de aporte en la base del inserto. Discontinuidad en el diseño de la junta del alojamiento del inserto.</p>
<p>M1B-1</p>		<p>Soldadura completa alrededor del inserto. Discontinuidad en el diseño de la junta del alojamiento del inserto.</p>
<p>M1B-2</p>		<p>Soldadura completa alrededor del inserto. Discontinuidad en el diseño de la junta del alojamiento del inserto.</p>
<p>M1B-3</p>		<p>Falta de soldadura alrededor del inserto. Porosidad en 2 sectores del metal de aporte. Diferencia en el espesor del metal de aporte en la base del inserto. Discontinuidad en el diseño de la junta del alojamiento del inserto.</p>
<p>M1B-4</p>		<p>Falta de soldadura alrededor del inserto. Porosidad en 2 sectores del metal de aporte. Diferencia en el espesor del metal de aporte en la base del inserto. Discontinuidad en el diseño de la junta del alojamiento del inserto.</p>

<p>M1B-5</p>		<p>Falta de soldadura alrededor del inserto. Porosidad en 2 sectores del metal de aporte. Diferencia en el espesor del metal de aporte en la base del inserto. Discontinuidad en el diseño de la junta del alojamiento del inserto.</p>
<p>M2A-1</p>		<p>Soldadura completa alrededor del inserto. Diferencia en el espesor del metal de aporte en la base del inserto. Discontinuidad en el diseño de la junta del alojamiento del inserto.</p>
<p>M2A-2</p>		<p>Soldadura completa alrededor del inserto. Diferencia en el espesor del metal de aporte en la base del inserto. Discontinuidad en el diseño de la junta del alojamiento del inserto.</p>
<p>M2A-3</p>		<p>Soldadura completa alrededor del inserto. Diferencia en el espesor del metal de aporte en la base del inserto. Discontinuidad en el diseño de la junta del alojamiento del inserto.</p>
<p>M2A-4</p>		<p>Falta de soldadura alrededor del inserto. Porosidad en el metal de aporte. Daño en los metales cerca del defecto. Diferencia en el espesor del metal de aporte en la base del inserto. Discontinuidad en el diseño de la junta del alojamiento del inserto.</p>

<p>M2A-5</p>		<p>Soldadura completa alrededor del inserto. Diferencia en el espesor del metal de aporte en la base del inserto. Discontinuidad en el diseño de la junta del alojamiento del inserto.</p>
<p>M2A-6</p>		<p>Falta de soldadura alrededor del inserto. Porosidad en el metal de aporte. Daño en los metales cerca del defecto. Diferencia en el espesor del metal de aporte en la base del inserto. Discontinuidad en el diseño de la junta del alojamiento del inserto.</p>
<p>M2B-1</p>		<p>Soldadura completa alrededor del inserto. Espesor uniforme en el metal de aporte en la base del inserto.</p>
<p>M2B-2</p>		<p>Falta de soldadura alrededor del inserto. Porosidad en 2 sectores del metal de aporte. Daño en los metales cerca del defecto.</p>

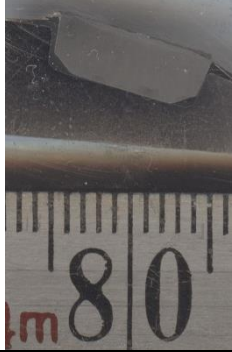

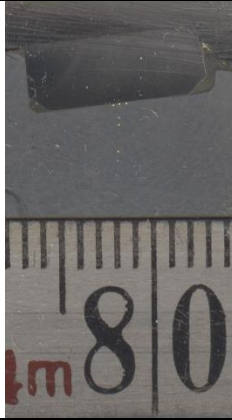
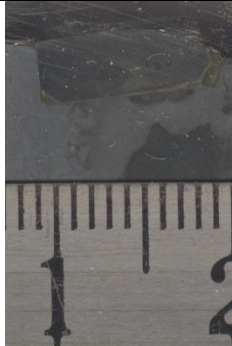
<p>M2B-3</p>		<p>Soldadura completa alrededor del inserto. Espesor uniforme en el metal de aporte en la base del inserto.</p>
<p>M2B-4</p>		<p>Soldadura completa alrededor del inserto. Espesor uniforme en el metal de aporte en la base del inserto.</p>
<p>M2B-5</p>		<p>Soldadura completa alrededor del inserto. Diferencia de espesores en el metal de aporte alrededor del inserto.</p>
<p>M2B-6</p>		<p>Soldadura completa alrededor del inserto. Porosidad en el metal de aporte. Diferencia de espesores en el metal de aporte alrededor del inserto.</p>

Tabla 4 Resultados de la caracterización macroscópica.

Luego de los estudios realizados, se prosiguió con el análisis de micrografías de todas las muestras y con el análisis químico del metal base.

4.2. Resultados de la composición química

Los resultados del análisis químico realizados al material base de las mordazas M2 se muestran en la siguiente tabla.

Muestras	Composición Química (wt%)										
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Ni	Cu	Al	Co
M2A	0,477	0,740	0,023	0,0199	0,325	0,081	0,011	-	-	-	-
M2B	0,371	0,821	0,020	< 0,003	0,261	0,890	0,203	-	-	-	-
AISI 4140 ASTM 519	0,38-0,43	0,75-1	<0,040	<0,040	0,15-0,35	0,8-1,1	0,15-0,25	-	-	-	-
AISI 1045 ASTM 519	0,37-0,5	0,6-0,9	<0,040	<0,050	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 5 Resultados del análisis químico.

La Tabla 5 muestra que la mordaza M2B correspondería a un acero AISI 4140, mientras que al analizar la composición química de la muestra M2A, se evidencio que posee muy poco contenido de los aleantes Cr y Mo, por lo que este acero correspondería a un acero AISI 1045.

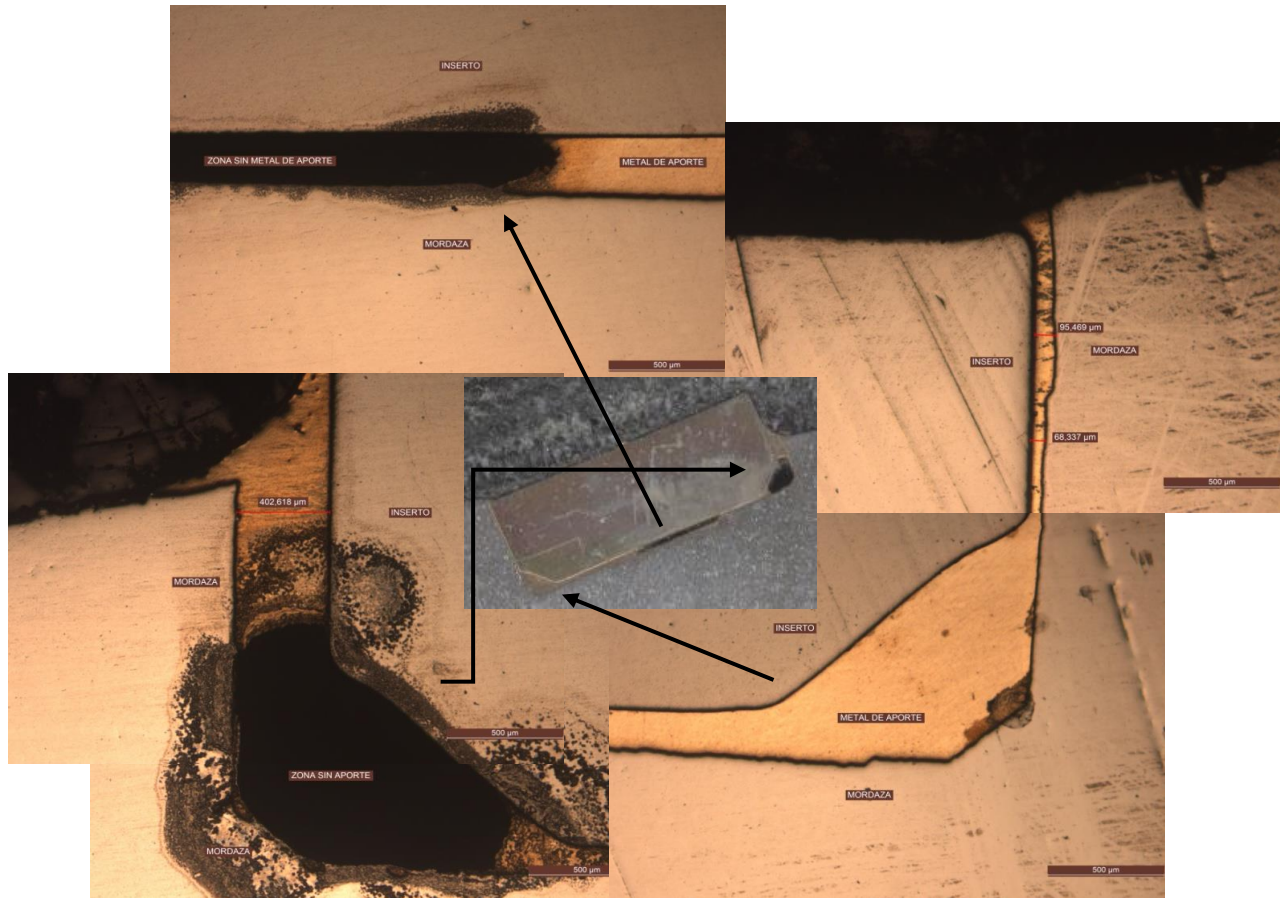
4.3. Resultados de la micrografía

En las micrografías obtenidas se pudo observar que todos los insertos de las probetas M1A mostraron falta de soldadura completa en todo su perímetro, mientras que las M1B presentaron pocos insertos soldados completamente, a su vez. A su vez, en la mayoría de estas muestras analizadas, se pudo visualizar la presencia de poros, los cuales pueden deberse al aire o fundente atrapado durante la realización del procedimiento de soldadura. Luego del análisis del barrido SEM, se detectó la presencia de Zn en el metal de soldadura, por lo que no se le atribuye estos defectos a la evaporación de este elemento en esa zona, ya que el mismo requiere temperaturas por encima de 850°C para evaporarse.[4]

El diseño del alojamiento del inserto presenta una discontinuidad en la base que ha dificultado el llenado, se observan además diferencias en el espesor del aporte en los laterales de los insertos.

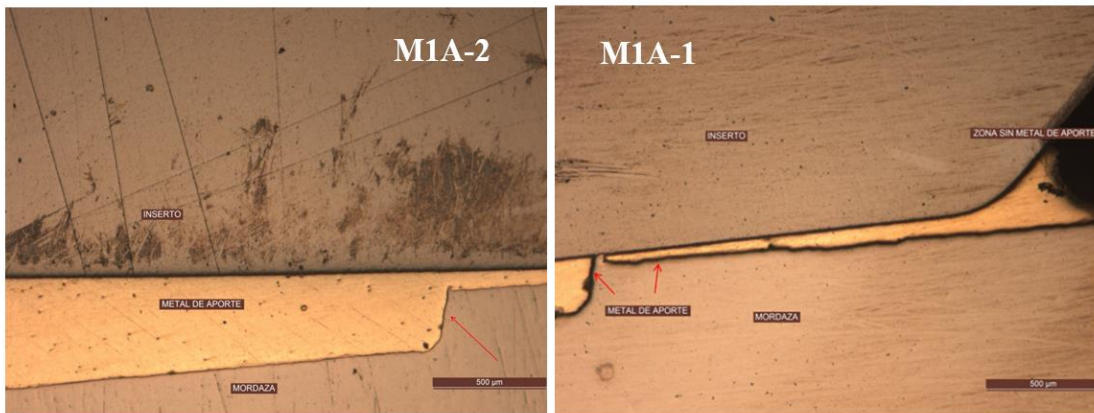
En la Figura 27 se muestran las micrografías obtenidas para la probeta M1A-3, con todas la indicaciones mencionadas en la Tabla 4. Además de estas indicaciones, existe una diferencia en el espesor del metal de aporte en ambos lados del inserto.

Figura 27 Micrografía de probeta M1A-3 50X.



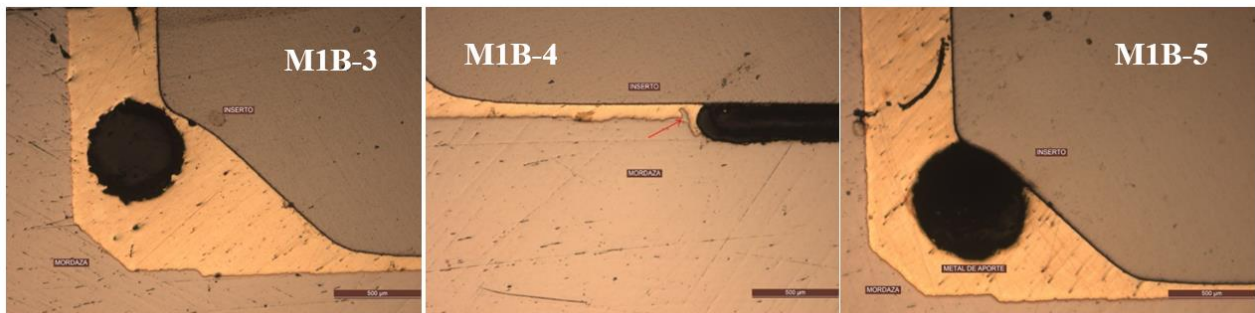
En la Figura 28 se observan las micrografías obtenidas para la muestra M1A-1 y M1A-2. Para este caso se evidencian zonas en la base con una diferencia muy marcada de espesores del relleno, por lo cual se lo atribuye a que el diseño del alojamiento de los insertos no es el adecuado.

Figura 28 Micrografía M1A-1 y M1A-2.



En la Figura 29 se observan las micrografías obtenidas para la muestra M1B-3, M1B-4, M1B-5, en todas se observan zonas con aire atrapado.

Figura 29 Micrografía M1B-3, M1B-4 y M1B-5.



Por otro lado, las muestras M2A y M2B presentaron menos defectos de aire atrapado, pero al igual que las anteriores, se evidencia una discontinuidad marcada en el espesor del relleno, principalmente en la base del inserto, como se puede apreciar en las siguientes figuras.

Se apreciaron valores de espesores en el relleno desde 526 µm a valores por debajo de 16 µm en las muestras, este rango de valores se encuentra por encima de la que dicta la norma de aceptación AWS C3.2, la cual menciona que la distancia de separación va de 0,05 a 0,012 mm (50 µm a 12 µm) para este metal de aporte.[10],[26][27]

Figura 30 Micrografía M2A-1.

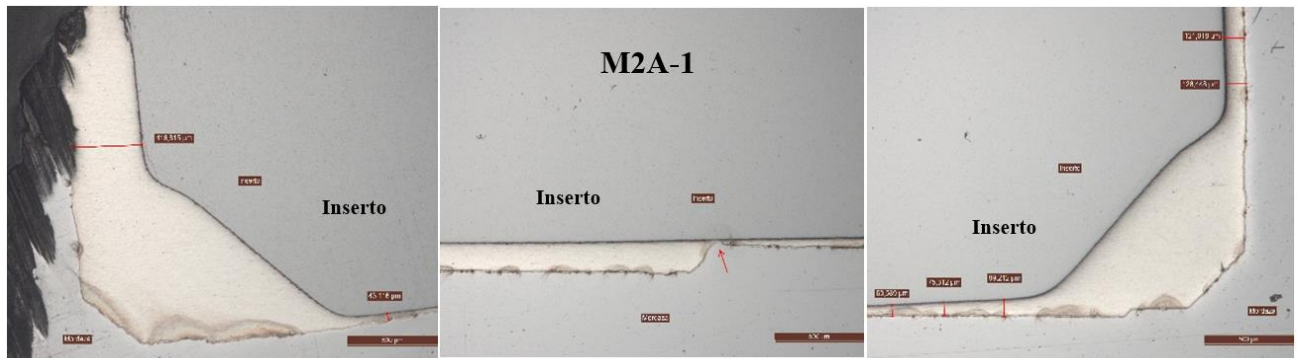
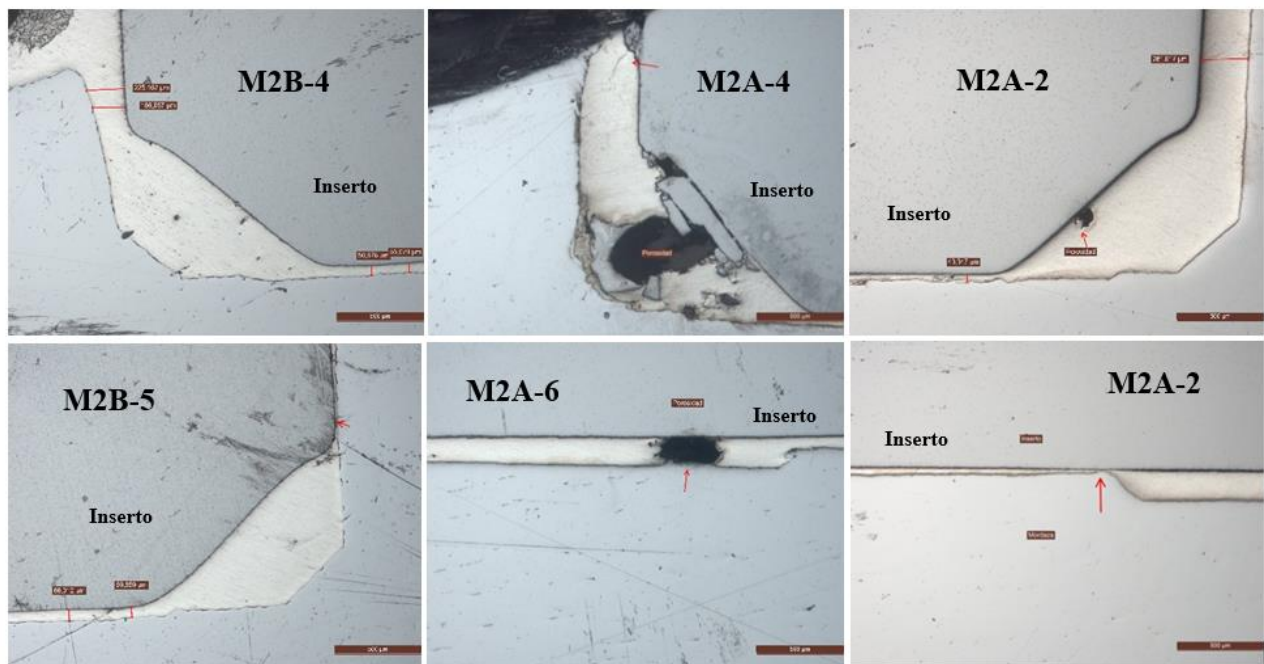


Figura 31 Micrografía M2B-4, M2B-5, M2A-2, M2A-4 y M2A-6.



En base a los resultados obtenidos en las micrografías de las muestras M1A y M1B, estas muestras se rechazaron debido a la gran presencia de porosidades encontradas y se decidió continuar con los siguientes análisis solo con las muestras M2A y M2B.

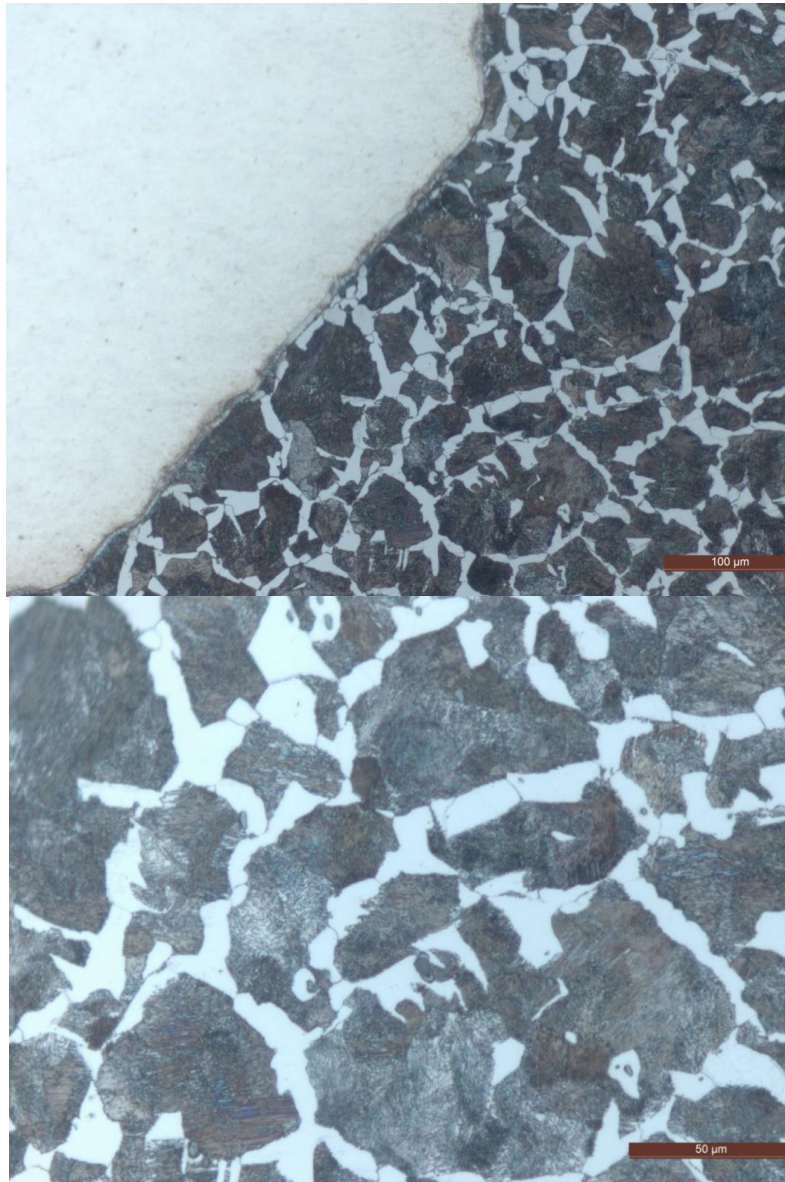
4.4. Resultados de la caracterización de la microestructura

Además de conocer el tamaño de grano, es importante conocer el porcentaje de carbono, ya que este también influirá directamente en las propiedades de un acero. Cuanto mayor cantidad de carbono exista, habrá una mayor cantidad de granos perlíticos los cuales propiciarán un

incremento en la dureza y propiedades mecánicas. Entre menos porcentaje de carbono, se crearán granos ferríticos los cuales están relacionados directamente al incremento de la ductilidad. [28]

En la Figura 32 se presenta la microestructura correspondiente a la muestra M2A, donde se observa la matriz formada por capas o láminas alternas de las dos fases (ferrita y cementita), correspondiente a los granos perlíticos (zonas oscuras) con ferrita (α) en borde de grano (zonas claras). Una matriz de este tipo, le da al acero mayor dureza, pero menor ductilidad.

Figura 32 Microestructura en la matriz de la Mordaza M2A 200X – 500X.



En la Figura 33 se presenta la microestructura de la muestra M2B, correspondiente a martensita revenida, esta microestructura se consigue después de un tratamiento térmico de

temple y revenido, que permite obtener las mayores propiedades mecánicas para estas aleaciones. [28]

Figura 33 Microestructura en la matriz de la mordaza M2B 200X – 500X.



4.5. Resultados de la medición de microdureza

Para el análisis de la microdurezas de Vickers, se realizaron 5 improntas en cada metal base, los resultados obtenidos en el corte longitudinal de la probeta M2A-5, se presentan en la Tabla 6.

	Mordaza	Insertos
Impronta	HV1	HV1
1	221,8	1242
2	230,4	1231,5
3	246,1	1271,5
4	219,1	1258,9
5	214,6	1270,7

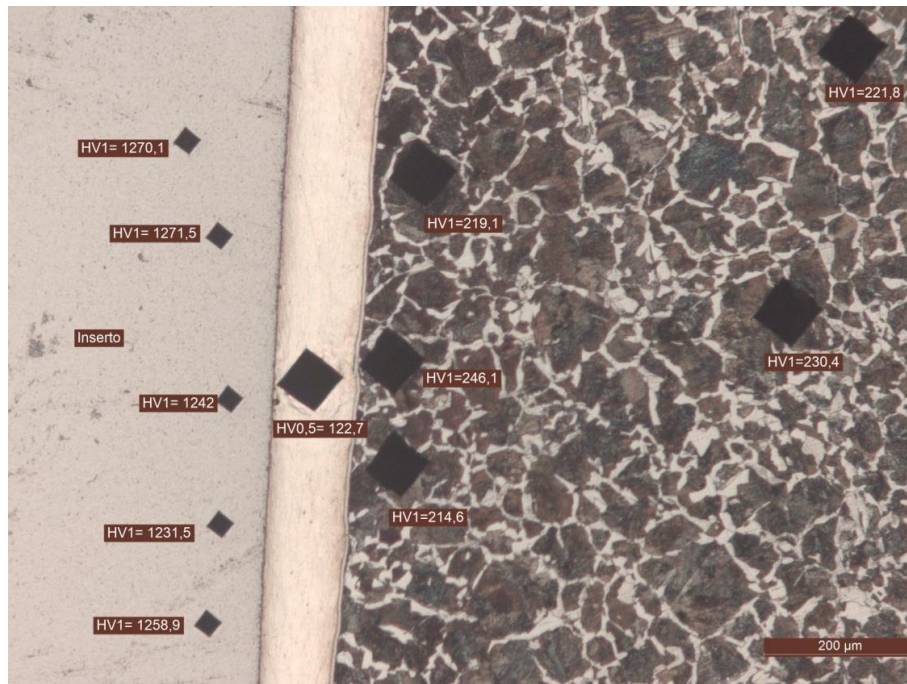
Promedio	226,4	1254,9
Desviación	12,43	17,71
Valores de Referencia	197-229	1200-1500

Tabla 6 Valores obtenidos de las microdurezas de la probeta M2A-5.

Se obtuvieron valores fluctuantes, como se puede apreciar en la Tabla 6, siendo los valores mínimo y máximo de la mordaza de HV1 214,6 y 246,1, los cuales están dentro de los valores para el acero normalizado según IRAM 1045[29], con un valor promedio de 226,4 HV, lo que indica la presencia de una microestructura de perlita-ferrita, y de los insertos de CW de HVI 1231,5 y 1271,5 respectivamente, con un valor promedio de 1254,9 HV.

En la Figura 34 se puede observar una imagen tomada con el microscopio de las improntas realizadas en la probeta M2A-5.

Figura 34 Improntas de medición de microdurezas en probeta M2A-5.



Los resultados de la medición de microdureza, determinado en el corte longitudinal de la probeta M2B-5, se presentan en la Tabla 7.

	Mordaza	Insertos
Impronta	HV1	HV1
1	300,9	1290,7
2	274,7	1285,9
3	300,2	1320,8
4	278,2	1331,1
5	290	1348,4

Promedio	288,8	1315,3
Desviación	12,13	26,67
Valores de Referencia	311	1200-1500

Tabla 7 Valores obtenidos de las microdurezas de la probeta M2B-5.

Se obtuvieron valores fluctuantes, como se puede apreciar en la Tabla 7, siendo los valores mínimo y máximo de la mordaza de HV1 274,7 y 300,9, los cuales están dentro de los valores según IRAM 4140[29], con un valor promedio de 288,8 HV, este valor indica la presencia de una microestructura de la martensita revenida, y de los insertos de CW de HVI 1348,4 y 1271,5 respectivamente, con un valor promedio de 1315,3 HV.

En la Figura 35 se puede observar una imagen tomada con el microscopio de las improntas realizadas en la probeta M2B-5.

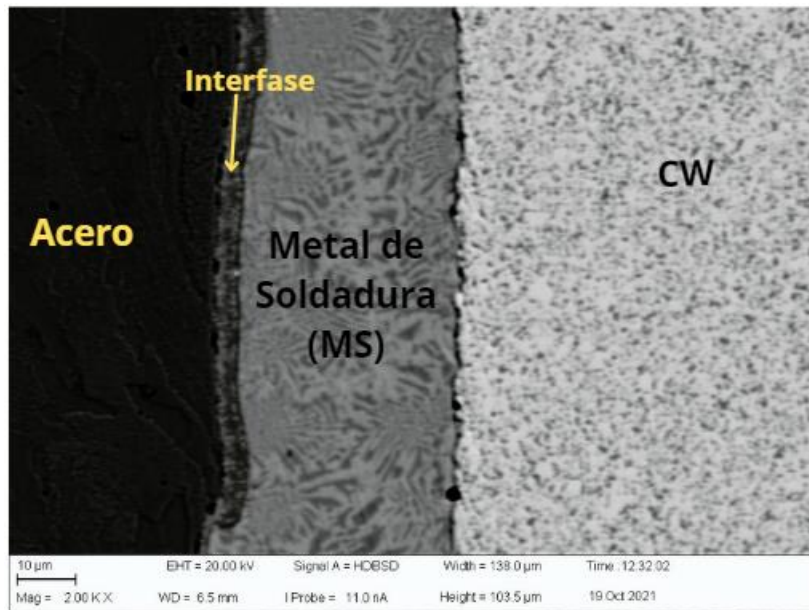
Figura 35 Improntas de medición de microdurezas en probeta M2B-5.



4.6. Resultado de la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Se analizaron 2 muestras en el SEM, las probetas M2A-3 y M2B-3, por considerar que tenían alguna característica de interés para la observación. En este experimento se buscó la composición química de las distintas zonas de las muestras y comprobar la presencia de difusión de elementos del metal de aporte. La descripción visual de las muestras observadas en SEM se aprecia en las Figura 36.

Figura 36 Descripción visual del brazing observada en SEM.



En la Figura 37 se pueden observar las distintas zonas analizadas de la probeta M2A-3, el espectro N°2 es el de interés ya que es donde se encuentra la interfase. El análisis demostró que la presencia de los elementos plata, cobre y zinc, lo que evidencia que hubo difusión del metal de soldadura al metal base. El porcentaje en peso puede apreciarse en la Tabla 8 y en la Figura 38.

Figura 37 Zonas 1-4 de la muestra M2A-3 donde se analizó la composición de la interfase.

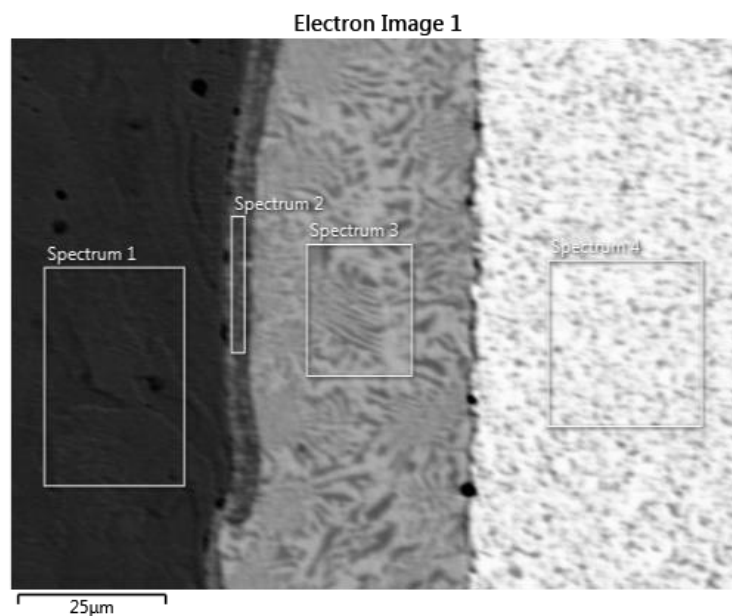
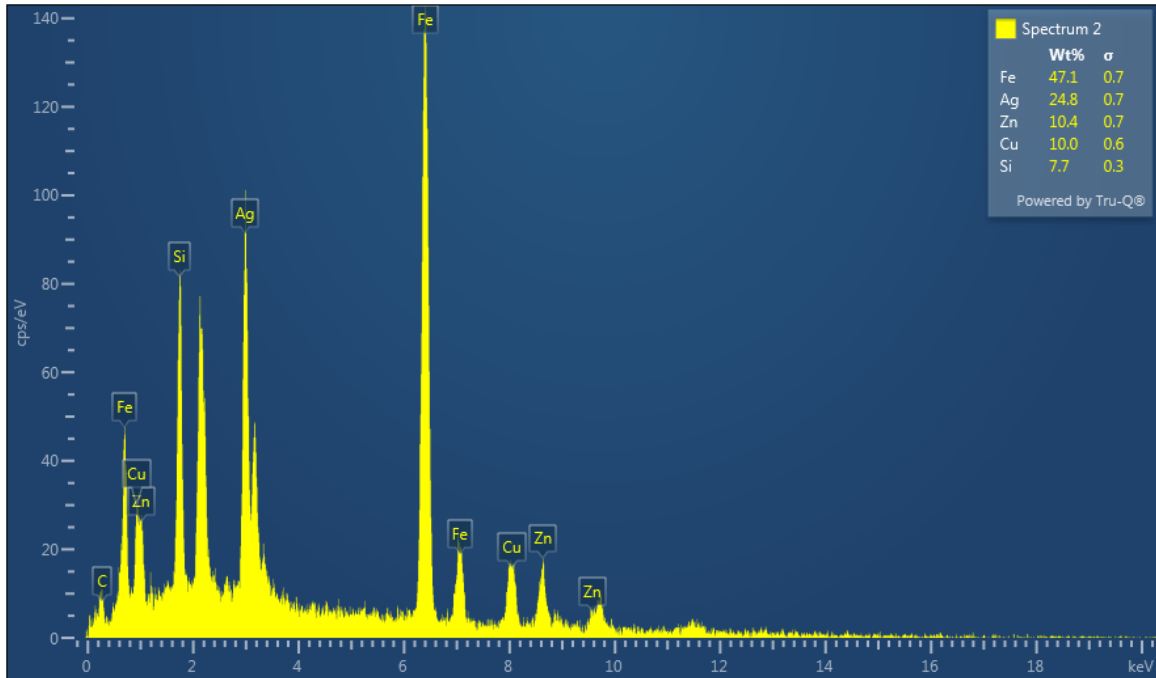


Figura 38 Análisis de la composición química del espectro 2, en la muestra M2A-3.



Spectrum 2								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
Si	K series	5.83	0.04621	7.69	0.29	SiO ₂	Yes	
Fe	K series	53.68	0.53681	47.11	0.73	Fe	Yes	
Cu	K series	10.52	0.10517	9.99	0.58	Cu	Yes	
Zn	K series	11.13	0.11126	10.40	0.67	Zn	Yes	
Ag	L series	24.24	0.24237	24.81	0.66	Ag	Yes	
Total:				100.00				

Tabla 8 Composición química del espectro 2 de la muestra M2A-3.

Al igual que en el caso anterior, en la muestra M2B-3 se observó que hubo difusión de los elementos del metal de soldadura al metal base. Los resultados se observan en la Tabla 9 y en la Figura 39.

Figura 39 Zonas 5-8 de la muestra M2B-3 donde se analizó la composición de la interfase.

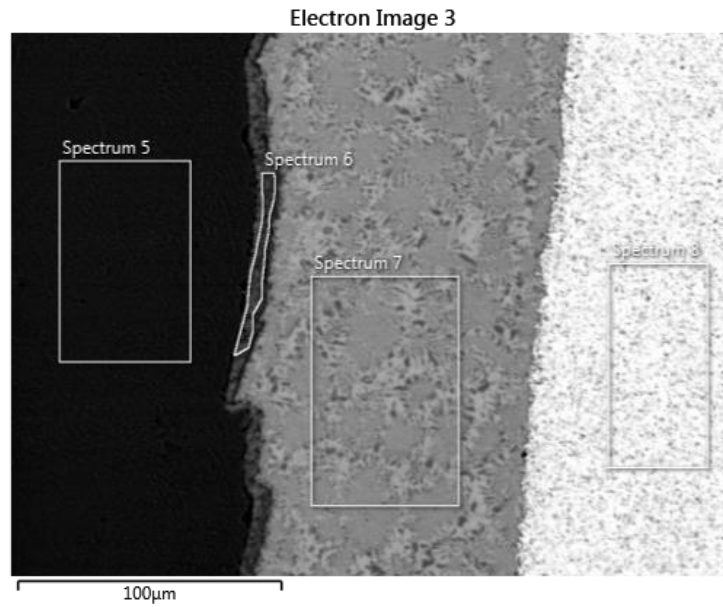
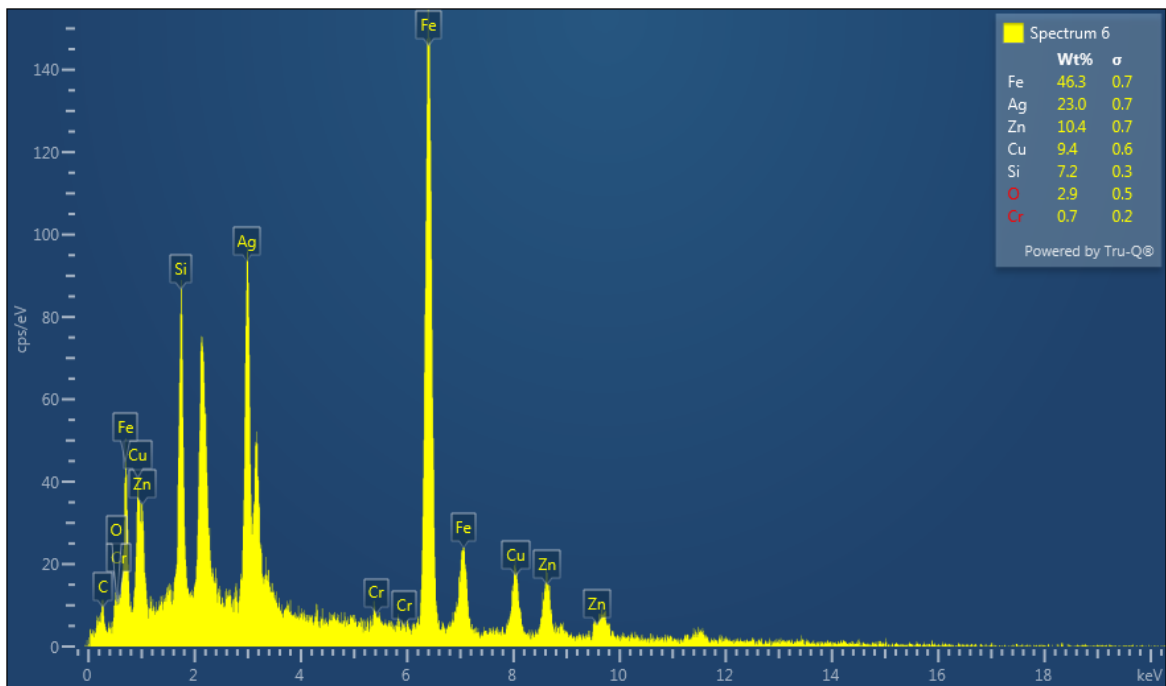


Figura 40 Análisis de la composición química del espectro 6, en la muestra M2B-3.



Spectrum 6								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
O	K series	2.72	0.00915	2.94	0.51	SiO ₂	Yes	
Si	K series	5.95	0.04712	7.19	0.28	SiO ₂	Yes	
Cr	K series	0.87	0.00871	0.69	0.20	Cr	Yes	
Fe	K series	57.04	0.57045	46.32	0.75	Fe	Yes	
Cu	K series	10.73	0.10726	9.43	0.55	Cu	Yes	
Zn	K series	12.01	0.12012	10.40	0.65	Zn	Yes	
Ag	L series	24.43	0.24432	23.02	0.65	Ag	Yes	
Total:				100.00				

Tabla 9 Composición química del espectro 6 de la muestra M2B-3.

Se observa en la Figura 40 que entre los elementos encontrados aparece en cantidad apreciable de oxígeno y cromo, el primero de estos podrían deberse al ambiente en donde se realizó la soldadura, mientras que el Cr, como se muestra en la Figura 44 donde se observa que este elemento proviene del metal base.

De esta última muestra, se realizó un análisis de composición química en el metal de soldadura, donde se observaron las composiciones en tres zonas, las mismas correspondientes a los espectros 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16 y 17, donde se buscaron los componentes mayoritarios en cada zona, los mismos se pueden ver en la Figura 42.

Figura 41 Zonas analizadas del metal de aporte de la muestra M2B-3.

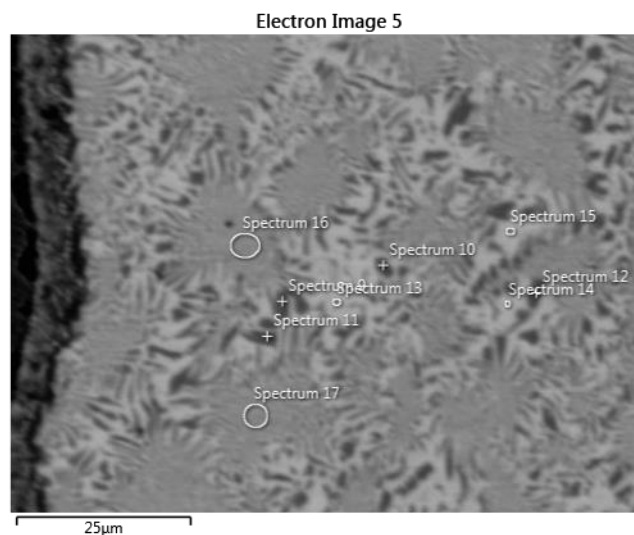
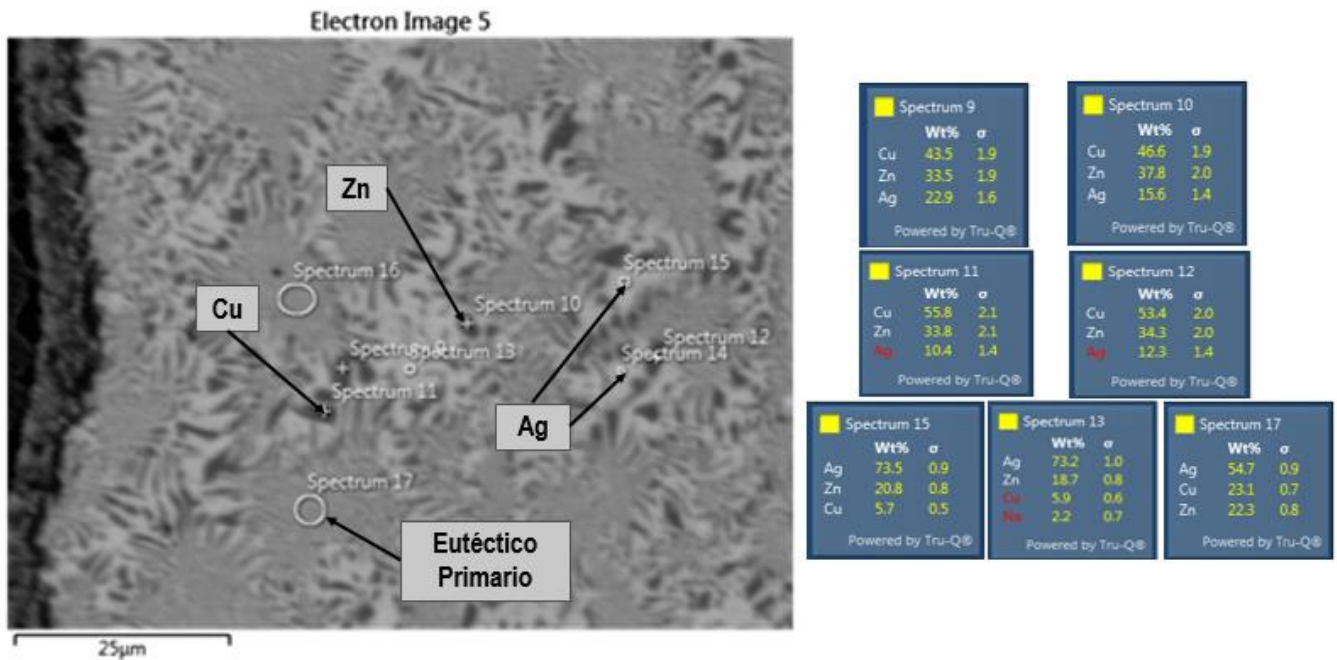


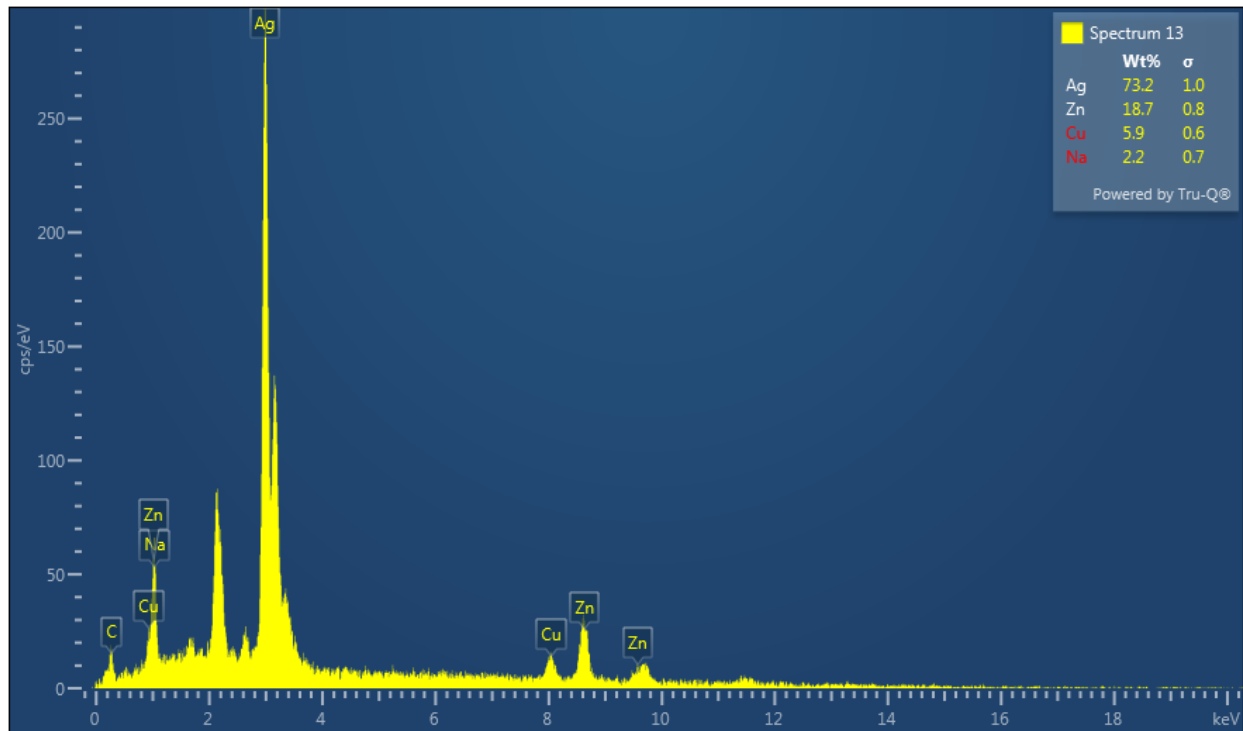
Figura 42 Resultados analizados de las distintas zonas de la muestra M2B-3.



En la Figura 42, se muestra la microestructura correspondiente del metal de soldadura, la cual concuerda con la microestructura mencionada en la sección 2.2.3.1, donde se observan dos regiones distintas, correspondiente a la microestructura eutéctica gruesa y fina (clara = fase (Ag), oscura = fase (Cu) + (Zn)), según el diagrama de fases ternario anteriormente mencionado, ver Figura 15 y Figura 16.

Se observa en la Figura 43 que entre los elementos encontrados aparece en cantidad apreciable el Sodio, por lo que se realizó un mapeo para poder inferir de dónde provenía. Los resultados arrojaron que este elemento proviene del metal de soldadura, como se puede apreciar en la Figura 44. A su vez, en la Figura 45 en este mapeo se detecta la presencia del elemento Zn

Figura 43 Análisis de la composición química espectro 13.



Spectrum 13								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
Na	K series	1.41	0.00593	2.22	0.73	Albite	Yes	
Cu	K series	6.91	0.06911	5.88	0.57	Cu	Yes	
Zn	K series	22.32	0.22319	18.69	0.83	Zn	Yes	
Ag	L series	78.83	0.78831	73.21	1.04	Ag	Yes	
Total:				100.00				

Tabla 10 Composición química espectro 13.

Figura 44 Mapeo SEM de la composición química de la muestra M2B.

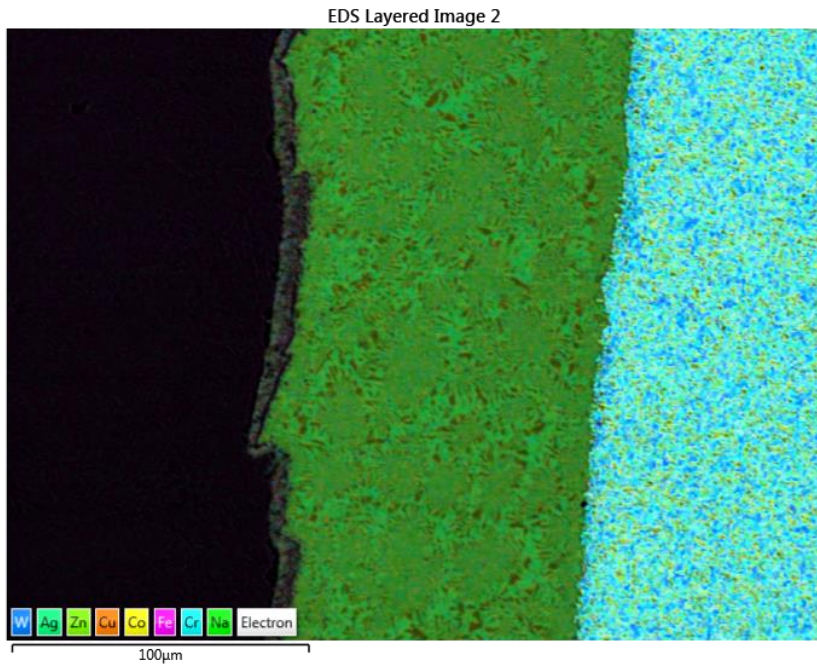
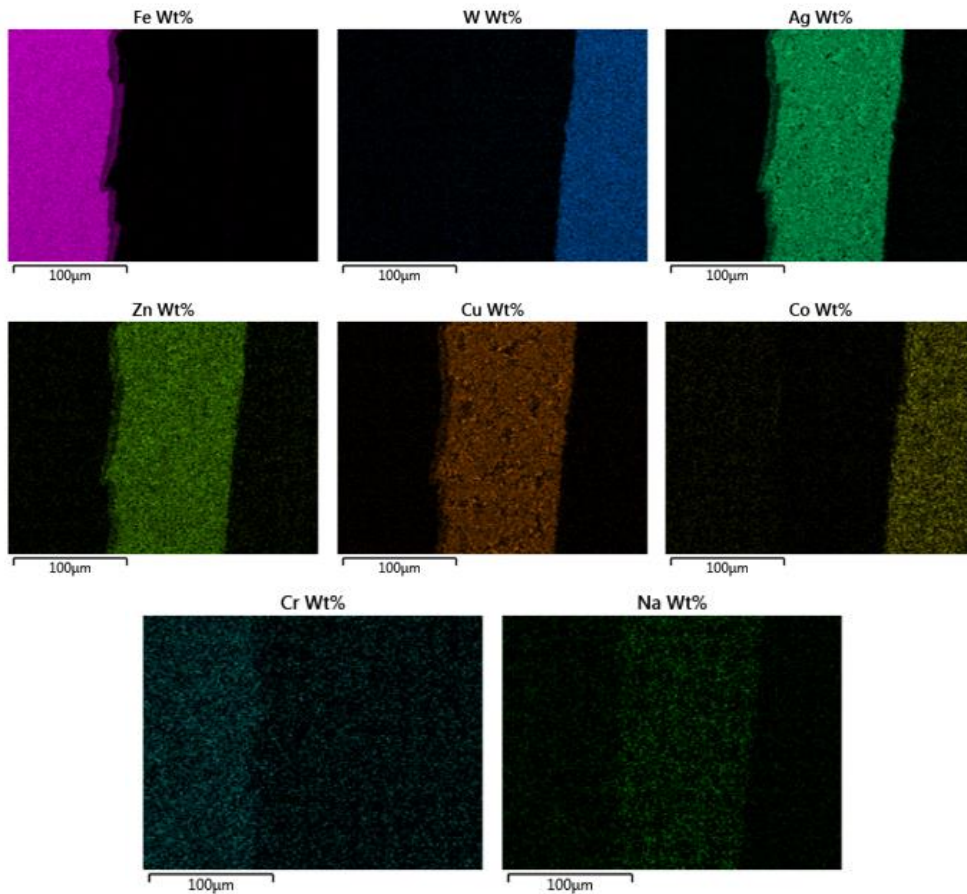


Figura 45 Mapeo SEM por elemento de la muestra M2B.



4.7. Especificación de Procedimiento de Brazing “BPS” en base a ASME IX

La especificación de procedimiento de soldadura “EPS” (Welding Procedure Specification – WPS) es un documento que brinda instrucciones al soldador, donde se detallan la preparación, parámetros y variables (esenciales y no esenciales) que son aplicables al proceso de unión. Este documento se elabora de acuerdo con los requisitos del código ASME Sección IX.

En este trabajo se elaboró la Especificación del Procedimiento de Soldadura Brazing “BPS” (Brazing Procedure Specification), utilizando los requerimientos para el proceso brazing con torcha (Torch Brazing - TB), ver Anexo I. Dentro del código ASME IX, se tomó en cuenta la parte de QB-200 y en la Tabla QB-252, donde se listan las variables esenciales y no esenciales de este procedimiento, ver Figura 46.

Figura 46 Listado de variables esenciales y no esenciales para TB. [10]

Paragraph	252.1 Essential Variables	252.2 Nonessential Variables
QB-402 Base Metal	QB-402.1	...
	QB-402.3	...
QB-403 Brazing Filler Metal	QB-403.1	...
	QB-403.2	...
	QB-403.3	...
QB-406 Brazing Flux, Gas, or Atmosphere	QB-406.1	QB-406.3
QB-407 Flow Position	QB-407.1	...
QB-408 Joint Design	QB-408.2	...
	QB-408.4	...
QB-409 Postbrazing Heat Treatment	QB-409.1	...
	QB-409.2	...
	QB-409.3	...
QB-410 Technique	...	QB-410.1
	...	QB-410.2
	...	QB-410.3
	...	QB-410.4
	...	QB-410.5

En la sección 2.2 de este trabajo, se detallan las características de los metales base, CW y AISI 4140 (ver Figura 47), así también del fundente y metal de aporte que se utilizaron para la realización de esta soldadura. Considerando que el metal base a utilizar es difícil de soldar, se recomendó realizar un precalentamiento a 260°C, a fin de disminuir la velocidad de enfriamiento y evitar la formación de martensita en la zona afectada por calor.

Figura 47 Composición química de aceros, ASTM A519[12].

TABLE 3 Chemical Requirements for Alloy Steels

NOTE 1—The ranges and limits in this table apply to steel not exceeding 200 in.² (1290 cm²) in cross-sectional area.

NOTE 2—Small quantities of certain elements are present in alloy steels which are not specified or required. These elements are considered as incidental and may be present to the following maximum amounts: copper, 0.35 %; nickel, 0.25 %; chromium, 0.20 %; molybdenum, 0.10 %.

NOTE 3—The ranges and limits given in this table apply to heat analysis; except as required by 6.1, product analyses are subject to the applicable additional tolerances given in Table Number 5.

Grade ^{A,B} Designation	Chemical Composition Limits, %							
	Carbon	Manganese	Phosphorus, ^C max	Sulfur, ^{C,D} max	Silicon	Nickel	Chromium	Molybdenum
1330	0.28–0.33	1.60–1.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	...	...
1335	0.33–0.38	1.60–1.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	...	...
1340	0.38–0.43	1.60–1.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	...	...
1345	0.43–0.48	1.60–1.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	...	...
3140	0.38–0.43	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	1.10–1.40	0.55–0.75	...
E3310	0.08–0.13	0.45–0.60	0.025	0.025	0.15–0.35	3.25–3.75	1.40–1.75	...
4012	0.09–0.14	0.75–1.00	0.040	0.040	0.15–0.35	...	...	0.15–0.25
4023	0.20–0.25	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4024	0.20–0.25	0.70–0.90	0.040	0.035–0.050	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4027	0.25–0.30	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4028	0.25–0.30	0.70–0.90	0.040	0.035–0.050	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4037	0.35–0.40	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4042	0.40–0.45	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4047	0.45–0.50	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4063	0.60–0.67	0.75–1.00	0.040	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4118	0.18–0.23	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.40–0.60	0.08–0.15
4130	0.28–0.33	0.40–0.60	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4135	0.32–0.39	0.65–0.95	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4137	0.35–0.40	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4140	0.38–0.43	0.75–1.00	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4142	0.40–0.45	0.75–1.00	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4145	0.43–0.48	0.75–1.00	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4147	0.45–0.50	0.75–1.00	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4150	0.48–0.53	0.75–1.00	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4320	0.17–0.22	0.45–0.65	0.040	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	0.40–0.60	0.20–0.30
4337	0.35–0.40	0.60–0.80	0.040	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	0.70–0.90	0.20–0.30
E4337	0.35–0.40	0.65–0.85	0.025	0.025	0.15–0.35	1.65–2.00	0.70–0.90	0.20–0.30
4340	0.38–0.43	0.60–0.80	0.040	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	0.70–0.90	0.20–0.30
E4340	0.38–0.43	0.65–0.85	0.025	0.025	0.15–0.35	1.65–2.00	0.70–0.90	0.20–0.30
4422	0.20–0.25	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	...	0.35–0.45
4427	0.24–0.29	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	...	0.35–0.45
4520	0.18–0.23	0.45–0.65	0.040	0.040	0.15–0.35	...	...	0.45–0.60
4615	0.13–0.18	0.45–0.65	0.040	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	...	0.20–0.30
4617	0.15–0.20	0.45–0.65	0.040	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	...	0.20–0.30
4620	0.17–0.22	0.45–0.65	0.040	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	...	0.20–0.30
4621	0.18–0.23	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	...	0.20–0.30
4718	0.16–0.21	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	0.90–1.20	0.35–0.55	0.30–0.40
4720	0.17–0.22	0.50–0.70	0.040	0.040	0.15–0.35	0.90–1.20	0.35–0.55	0.15–0.25
4815	0.13–0.18	0.40–0.60	0.040	0.040	0.15–0.35	3.25–3.75	...	0.20–0.30
4817	0.15–0.20	0.40–0.60	0.040	0.040	0.15–0.35	3.25–3.75	...	0.20–0.30
4820	0.18–0.23	0.50–0.70	0.040	0.040	0.15–0.35	3.25–3.75	...	0.20–0.30
5015	0.12–0.17	0.30–0.50	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.30–0.50	...
5046	0.43–0.50	0.75–1.00	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.20–0.35	...
5115	0.13–0.18	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.70–0.90	...
5120	0.17–0.22	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.70–0.90	...
5130	0.28–0.33	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	...
5132	0.30–0.35	0.60–0.80	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.75–1.00	...
5135	0.33–0.38	0.60–0.80	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.05	...
5140	0.38–0.43	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.70–0.90	...
5145	0.43–0.48	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.70–0.90	...
5147	0.46–0.51	0.70–0.95	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.85–1.15	...
5150	0.48–0.53	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.70–0.90	...
5155	0.51–0.59	0.70–0.90	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.70–0.90	...
5160	0.56–0.64	0.75–1.00	0.040	0.040	0.15–0.35	...	0.70–0.90	...
52100 ^F	0.93–1.05	0.25–0.45	0.025	0.015	0.15–0.35	0.25 max	1.35–1.60	0.10 max
E50100	0.98–1.10	0.25–0.45	0.025	0.025	0.15–0.35	...	0.40–0.60	...
E51100	0.98–1.10	0.25–0.45	0.025	0.025	0.15–0.35	...	0.90–1.15	...
E52100	0.98–1.10	0.25–0.45	0.025	0.025	0.15–0.35	...	1.30–1.60	...

El metal de aporte FONTARGEN A314 es una aleación de plata para brazing, con bajo punto de fusión sin cadmio, insensible al sobrecalentamiento, para uniones en aceros aleados y no aleados, níquel y aleaciones de níquel, hierro colado maleable, cobre, aleaciones de cobre y carburos metálicos, cuya composición química se muestra en el Anexo IV. El silicio contenido en la soldadura puede reducir los valores de las propiedades mecánicas de la soldadura en aceros al carbono.

Para este metal de aporte, la norma ASME recomienda utilizar fundente (Flux) para la eliminación de óxidos.

Figura 48 Separaciones recomendadas según el metal de aporte. [2], [3]

Filler Metal AWS Classification^a	mm	in.	Joint Clearance^b
BAISI Group	0.15–0.25	0.006–0.010	For length at lap less than 6.35 mm (1/4 in.)
	0.25–0.6	0.010–0.025	For length at lap greater than 6.35 mm (1/4 in.) mm
BCuP Group	0.03–0.12	0.001–0.005	—
BAg Group	0.05–0.12	0.002–0.005	Flux brazing (mineral fluxes)
	0.03–0.05	0.001–0.002 ^c	Atmosphere brazing (gas-phase fluxes)
BAu Group	0.05–0.12	0.002–0.005	Flux brazing (mineral fluxes)
	0.00–0.05	0.000–0.002 ^c	Atmosphere brazing (gas-phase fluxes)
BCu Group	0.00–0.05	0.000–0.002 ^c	Atmosphere brazing (gas-phase fluxes)
BCuZn Group	0.05–0.12	0.002–0.005	Flux brazing (mineral fluxes)
BMg Group	0.10–0.25	0.004–0.010	Flux brazing (mineral fluxes)
BNI Group	0.05–0.12	0.002–0.005	General applications (flux or atmosphere)
	0.00–0.05	0.000–0.002	Free-flowing types (atmosphere brazing)

- a. Key:
 BAISI—Aluminum BCuP—Copper phosphorus
 BAg—Silver base RBCuZn—Copper zinc
 BAu—Gold base BMg—Magnesium base
 BCu—Copper BNI—Nickel base
- b. Clearance on the radius when rings, plugs, or tubular members are involved. On some applications it may be necessary to use the recommended clearance on the diameter to assure not having excessive clearance when all the clearance is on one side. An excessive clearance will produce voids. This is particularly true when brazing is accomplished in a high-quality atmosphere (gas-phase fluxing).
- c. For maximum strength, a press fit of 0.03 to 0.05 mm/mm (0.001 to 0.002 in./in.) of diameter should be used.

El fundente utilizado F300 H ULTRA NT, el mismo recomendado por el proveedor para soldar aleaciones de Plata. Se utilizó atmósfera de aire, y los tipos de gas para esta soldadura son Acetileno, Propano, Butano y Gas Natural.

CAPÍTULO V

Conclusiones

En este trabajo se caracterizó la soldadura brazing necesaria para producir mordazas fabricadas con insertos de carburo de tungsteno unidas a acero AISI - SAE 4140, se buscó obtener las condiciones óptimas de esta unión y determinar el rango adecuado de los parámetros que intervienen, mediante el control en la temperatura de precalentamiento y en la velocidad de enfriamiento post-brazing.

Para ello, se soldaron en una primera etapa las muestras M1A y M1B utilizando un horno calentado por llama a 260°C y con posterior enfriamiento al aire, dando un total de 6 probetas, 2 con corte longitudinal y 4 con corte transversal, estas se caracterizaron y se le realizaron los diferentes ensayos experimentales, donde se detectaron porosidades, diferencias en los espesores en el metal de relleno, daños por calor en el metal base y discontinuidades en el diseño de la junta del alojamiento de los insertos. Debido a que los resultados obtenidos no fueron los esperados, estas probetas fueron rechazadas luego de realizar el análisis de la micrografía y se decidió hacer un nuevo procedimiento de soldadura con un mejor control de la temperatura del precalentamiento y en el tratamiento térmico post-brazing.

En la segunda etapa del proyecto se repitieron las soldaduras utilizando un horno eléctrico donde se precalentaron las mordazas M2A y M2B a 260°C, se realizó el enfriamiento lento de las muestras soldadas dentro del horno apagado. Se obtuvieron en total 8 probetas, 2 con corte longitudinal y el resto con corte transversal, se caracterizaron y se le realizaron los mismos experimentos que las de la primera etapa.

Los ensayos realizados mostraron una notable mejoría en la inspección visual. En los ensayos experimentales posteriores, se obtuvo una reducción/eliminación considerable en la cantidad de porosidades, sin teñido térmico y con mayor cantidad de soldaduras completas, pero estas probetas mostraron una diferencia marcada en los espesores del relleno, debido al diseño del alojamiento del inserto.

Los resultados del análisis de composición química del metal base de ambas muestras mostraron que la M2B corresponde a un acero AISI 4140, mientras que la M2A corresponde a un acero AISI 1045.

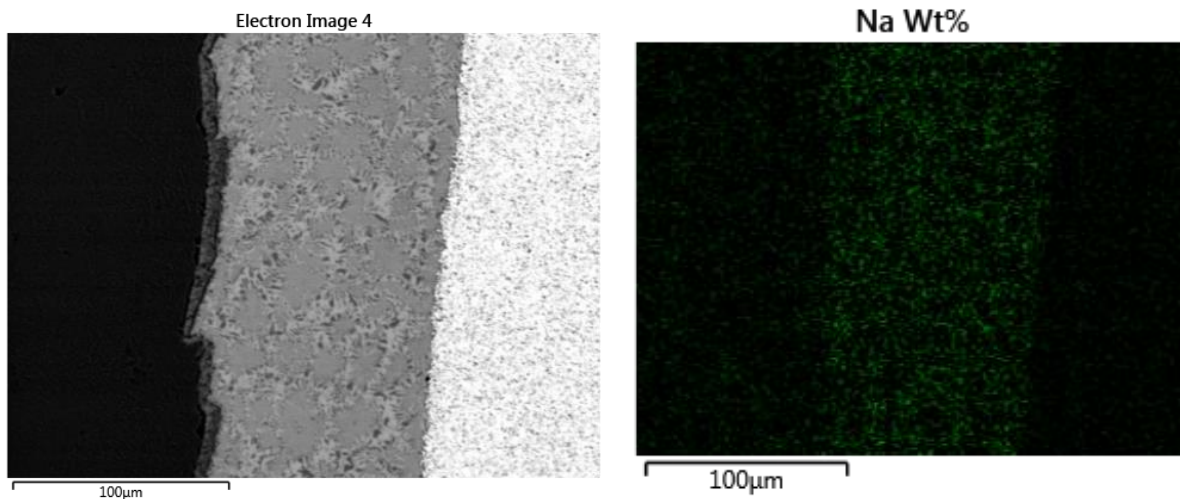
En la caracterización de la microestructura de las muestras, la M2A presenta una matriz formada por perlita con ferrita (α) en borde de grano, dándole una mayor dureza, pero menor ductilidad al acero. La microestructura de la muestra M2B, corresponde a martensita revenida, lo que le da al acero mayores propiedades mecánicas.

Los resultados de la medición de microdurezas de Vickers arrojaron valores fluctuantes en ambas muestras, con un valor promedio de 226,4 HV para la muestra M2A valor que indica la presencia de una microestructura de perlita-ferrita, y un valor promedio de 288,8 HV para la muestra M2B, valor correspondiente a martensita revenida. Estos resultados concuerdan con los obtenidos del análisis de la microestructura anteriormente mencionados.

Los análisis del barrido SEM en la interfase de las muestras fueron los esperados, estos mostraron que tanto en las probetas M2A-3 y M2B-3, hubo difusión desde el metal de soldadura al metal base. Por otro lado, en este estudio se analizó la microestructura resultante del metal de soldadura, la cual corresponde a la microestructura eutéctica gruesa y fina, donde en las zonas claras se encuentra la fase Ag y en las zonas oscuras la fase compuesta por Cu y Zn.

Además, se evidenció presencia de Oxígeno y Sodio en la última muestra. Luego de realizar un mapeo de composición química en el SEM, se obtuvo la Figura 49, que muestra presencia del sodio en toda la muestra. En el caso de ambos elementos no esperados en los resultados del SEM, no se pudo determinar el origen de los mismos en la muestra.

Figura 49 Mapeo de composición química de la muestra M2B referido al sodio.



Finalmente, el proceso de soldadura brazing con torcha que fue realizado para soldar las muestras M2A y M2B, cuyos parámetros están detallados en el BPS, ver Anexo I, y siguiendo los puntos descritos en el ítem 3.2, fue aprobado como procedimiento de soldadura.

Tareas futuras:

A partir de los resultados obtenidos se sugieren las siguientes tareas futuras:

1. Evaluar cómo eliminar las diferencias en el espaciado del relleno alrededor de los insertos. Ver cómo mejorar el diseño de los alojamientos de los insertos.
2. Realizar la soldadura con el proceso brazing en horno en atmósfera controlada. Elaborar un BPS correspondiente a dicho procedimiento.

BIBLIOGRAFÍA



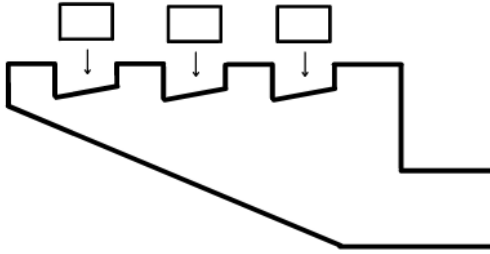
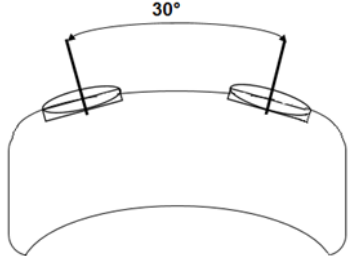
- [1] H. B. Cary, *Manual de Soldadura Moderna Tomo 2*, Segunda Ed. .
- [2] A. O. Brien, *Welding Handbook*, vol. 2. 1983.
- [3] M. M. Shwartz, *Brazing: Second edition*. Ohio: ASM International, 2006.
- [4] M. Lei, Y. Li, and H. Zhang, “Interfacial microstructure and mechanical properties of the TiC-Ni cermet/Ag-Cu-Zn/Invar joint,” *Vacuum*, vol. 168, no. July, p. 108830, 2019, doi: 10.1016/j.vacuum.2019.108830.
- [5] M. Pástor, “Introducción a la metalurgia de la soldadura,” *Espoch*, pp. 41–60, 2004, [Online]. Available: <http://www.aceroplatea.es/docs/documento138.pdf>.
- [6] L. Milhaupt, “Principios Básicos de la Soldadura Brazing,” pp. 1–45, [Online]. Available: <https://lucasmilhaupt.com/ES/Brazing-Academy/Brazing-Fundamentals.htm>.
- [7] Ing. Néstor BOTTA, “Seguridad con Equipos Oxiacetilénicos Portátiles.”
- [8] R. Andersson, T. Holm, S. Wiberg, and A. Åstrom, “Brazing of Metals,” no. 4, p. 43.
- [9] Sociedad Americana de Ingeniería Mecánica (ASME -American Society of Mechanical Engineers), “ASME BPVC Section IX - 2017,” vol. Sección IX, no. Julio 1, 2017, [Online]. Available: <https://www.asme.org/shop/certification-accreditation>.
- [10] American Welding Society (AWS), “AWS C3.4M/C3.4:2007 Specification for Torch Brazing,” vol. 2nd Editio, no. August 24, pp. 4–7, 2007.
- [11] S. R. S. S. Kalpakjian, *Manufactura, ingeniería y tecnología 5ta edicion*, QUINTA EDI. 2008.



- [12] ASTM, “ASTM A519-06 – Standard Specification for Cold-Drawn Buttweld Carbon Steel Mechanical Tubing 1,” *Order A J. Theory Ordered Sets Its Appl.*, vol. 96, no. Reapproved, pp. 1–7, 2001, doi: 10.1520/A0519-06.2.
- [13] A. R. Kovich, “Caracterización de fallas en un acero AISI-SAE 4140 templado y revenido, soldado y con recubrimiento de cromo utilizado en la fabricación de rotores de bombas de cavidades progresivas,” Universidad Nacional del Comahue, 2018.
- [14] L. C. A. Morimitsu, ““Síntesis y estudio del comportamiento de bicapas de Tungsteno, Carburo de Tungsteno (W/WC) obtenidas por la técnica SPUTTERING DC,”” *Univ. Nac. Colomb. SEDE MANIZALES Fac. CIENCIAS EXACTAS Y Nat. Dep. Fis. Y Quim. PROGRAMA Maest. EN CIENCIAS*, 2011.
- [15] M. Way, J. Willingham, and R. Goodall, “Brazing Filler Metals,” *Int. Mater. Rev.*, vol. 65, no. 5, pp. 257–285, Jul. 2020, doi: 10.1080/09506608.2019.1613311.
- [16] I. F. M. LÓPEZ, “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MICROESTRUCTURAL EN LAS UNIONES DE SOLDADURA BRAZING EN ALEACIONES DE ALUMINIO CON APORTE AW 4343 7,5% SI,” *CORPORACIÓN Mex. Investig. EN Mater. Div. Estud. POSGRADO*, 2010.
- [17] I. M. Macri, “12 Cadmio guía de actuación y diagnóstico,” 2019.
- [18] “Resolución SRT N°81/19 - SISTEMA DE VIGILANCIA Y CONTROL DE SUSTANCIAS Y AGENTES CANCERIGENOS - CREACION - MODIFICACIONES,” *Publicada en el Boletín Nacional del 10-Oct-2019*, 2019. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resolución-81-2019-329835/texto>.

- [19] S. P. Dimitrijević *et al.*, “Experimental Investigation of Microstructure and Phase Transitions in Ag-Cu-Zn Brazing Alloys,” *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 27, no. 4, pp. 1570–1579, 2018, doi: 10.1007/s11665-018-3258-1.
- [20] V. K. Beura, V. Xavier, T. Venkateswaran, and K. N. Kulkarni, “Interdiffusion and microstructure evolution during brazing of austenitic martensitic stainless steel and aluminum-bronze with Ag-Cu-Zn based brazing filler material,” *J. Alloys Compd.*, vol. 740, pp. 852–862, 2018, doi: 10.1016/j.jallcom.2018.01.043.
- [21] H. Baker, *ASM Handbook Volume 3: Alloy Phase Diagrams*. 1998.
- [22] ASTM, “E3-11 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens 1,” *ASTM Copyright.*, vol. i, no. Reapproved, pp. 1–12, 2011, doi: 10.1520/E0003-11.2.
- [23] A. J. Nehme, “Soldadura cuproaluminotérmica en cañerías de conducción para la protección catódica,” Universidad Nacional del Comahue, 2016.
- [24] ASTM Standard E384-17, “Microindentation Hardness of Materials,” *ASTM International*. pp. 1–24, 2017.
- [25] V. T. I. -CONICET, “MEB: Servicio de caracterización de minerales, fósiles y materiales en general.” [Online]. Available: <https://iipg.conicet.gov.ar/vinculacion-tecnologica-iipg/>.
- [26] J. N. Siddall, “Welding, Brazing, and Soldering,” *Mech. Des.*, pp. 155–155, 2019, doi: 10.3138/9781487579890-121.
- [27] A. W. Society, *Brazing Handbook*, 4Th Editio. 1991.
- [28] D. William and J. Callister, “Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales,” *Editorial Reverté, S.A.* p. 804, 1995.
- [29] Instituto Argentino de Siderurgia, “Aceros para Construcciones Mecánicas

- Hojas de Caracteristicas.pdf.” .

ANEXO I: BPS – ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE BRAZING

	Universidad Nacional del Comahue Facultad de Ingeniería Laboratorio de Metalografía y Soldadura	
ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE BRAZING (BPS) QB-482 (Ver QB-200.1, Sección IX y VIII, ASME BPVC) Hoja 1 de 2		
Empresa: LMTyS - DME- UNCo		
Especificación(BPS) N° : 001 Fecha de Emisión: 13/11/2021 Fecha de Revisión: 25/02/2022		
Soportado por Registros (PQR) N° (s): - Revisión N° : -		
Proceso Brazing(es): TORCH BRAZING (TB) Tipo(s): MANUAL (Automatic, Manual, Machine, or Semi-Automatic)		
Diseño de la Junta (QB-408)		
Tipo de Junta: Ver Figura 1 y 2 Espacio de la Junta (mm): 0,05 a 0,012		
Solapado: Mínimo: N/A Máximo: N/A		
Separación: Mínimo: N/A Máximo: N/A		
Figura 1: 		
Figura 2: 		
Metal Base (QB-402)		Metal de Aporte (QB-403)
P-N°: - a P-N°: - AWS BM-N°: CARBURO DE TUNGSTENO a AWS BM-N°: AISI/SAE 4140		Especificación (SFA) N°: 5.8
Otros:		Clasificación (AWS) N°: BAG-7
Espesor del MB(mm): 5 a 17 Mínimo (mm): - Máximo(mm): -		F-N°: 102
		Forma del producto: VARILLA SÓLIDA
		Diámetro (mm): 2,00 mm X 500 mm
		Temperatura de Brazing (QB-404)
		Rango de Temperatura: 630 °C - 660° C Temperatura de Trabajo: 650 °C
Trat. Térmico Post-Brazing (QB-409)		Brazing Flux, Fuel Gas, or Atmósfera (QB-406)
Rango de Temperatura: N/A		Flux (Marca comercial): FONTARGEN F300 H ULTRA NT
Rango de Tiempo: N/A		Tipo de Gas: Acetileno, Propano, Butano, Gas Natural
		Temperatura de Superficie: 260 °C
Posiciones (QB-407)		Tipo de Atmósfera: AIRE
Posiciones: PLANA		Otros:
Dirección del Flujo: HORIZONTAL Y DESCENDENTE		Ag 55%; Zn 22%; Cu 21% Sn 2% $\sigma_{m\acute{a}x}$= 330-430 Mpa; Dureza= 110 HB

	<p>Universidad Nacional del Comahue Facultad de Ingeniería Laboratorio de Metalografía y Soldadura</p>				
ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE BRAZING (BPS) QB-482 (Ver QB-200.1, Sección IX y VIII, ASME BPVC) Hoja 2 de 2					
Empresa:	LMTyS - DME- UNCo				
Especificación(BPS) N°:	001	Fecha de Emisión:	13/11/2021	Fecha de Revisión:	25/02/2022
Soportado por Registros (PQR) N° (s):	-	Revisión N°:	-		
Proceso Brazing(es):	TORCH BRAZING (TB)	Tipo(s):	MANUAL (Automatic, Manual, Machine, or Semi-Automatic)		
<i>Tecnica (QB-410) u Otra Información</i>					
Limpieza inicial y entre pasadas:	CEPILLO Y AGENTES QUÍMICOS (ACETONA)				
Fundente (Marca comercial):	FONTARGEN F300 H ULTRA NT				
Tipo de Flama (Oxidante, Neutra, Reductora):	Neutra, Reductora				
Tamaño de Torcha:	-				
Limpieza Post-Brazing:	CEPILLO				
Otros	Posterior a la soldadura se enfría lentamente la muestra soldada en un ambiente aislado.				

ANEXO II: INFORME COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AISI-SAE 4140

MUESTRA M2A:

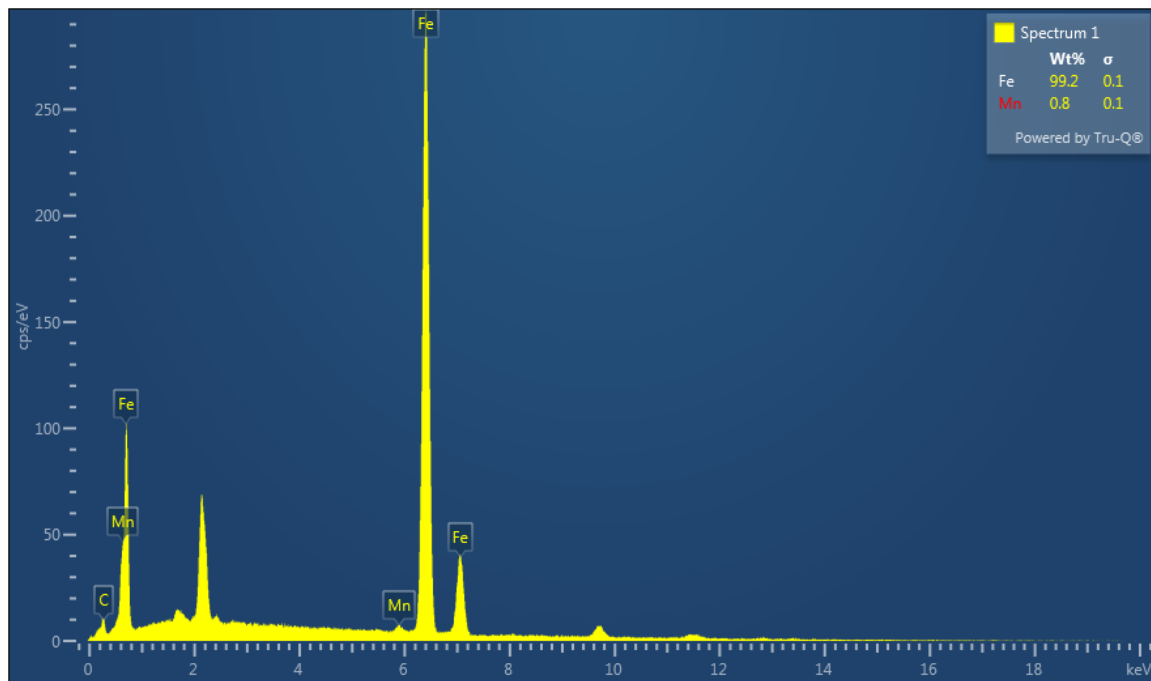
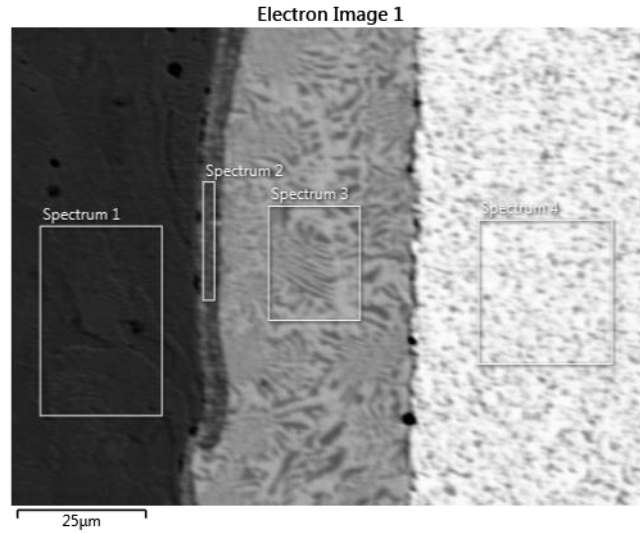
PMI Pro SNr. 13T0039		Optik Nr. 13T0039					
Sample :LMT 1124 A							
Alloy : FE_T_100		Mode : PA 06/08/2021 04:21:05 p.m.					
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
1	98,0	0,496	0,322	0,756	0,0233	0,0269	0,0819
2	98,0	0,473	0,334	0,740	0,0243	0,0202	0,0838
3	98,0	0,481	0,335	0,733	0,0238	0,0185	0,0765
4	98,1	0,460	0,309	0,730	0,0198	0,0140	0,0823
Average	98,0	0,477	0,325	0,740	0,0228	0,0199	0,0811
	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti
1	0,0086	0,0524	0,0236	0,0064	0,174	< 0,0030	0,0011
2	0,0134	0,0575	0,0346	0,0065	0,179	< 0,0030	0,0013
3	0,0079	0,0611	0,0331	0,0065	0,184	< 0,0030	0,0012
4	0,0120	0,0514	0,0196	0,0074	0,169	< 0,0030	0,0011
Average	0,0105	0,0556	0,0277	0,0067	0,177	< 0,0030	0,0012
	V	W	Pb	Sn	B	Zr	As
1	< 0,0020	< 0,0250	0,0314	0,0169	< 0,0010	0,0032	< 0,0050
2	< 0,0020	< 0,0250	0,0324	0,0180	< 0,0010	0,0042	< 0,0050
3	< 0,0020	< 0,0250	0,0310	0,0182	< 0,0010	0,0037	< 0,0050
4	< 0,0020	< 0,0250	0,0344	0,0161	< 0,0010	0,0032	< 0,0050
Average	< 0,0020	< 0,0250	0,0323	0,0173	< 0,0010	0,0036	< 0,0050
	Bi						
1	< 0,0250						
2	< 0,0250						
3	< 0,0250						
4	< 0,0250						
Average	< 0,0250						

MUESTRA M2B:

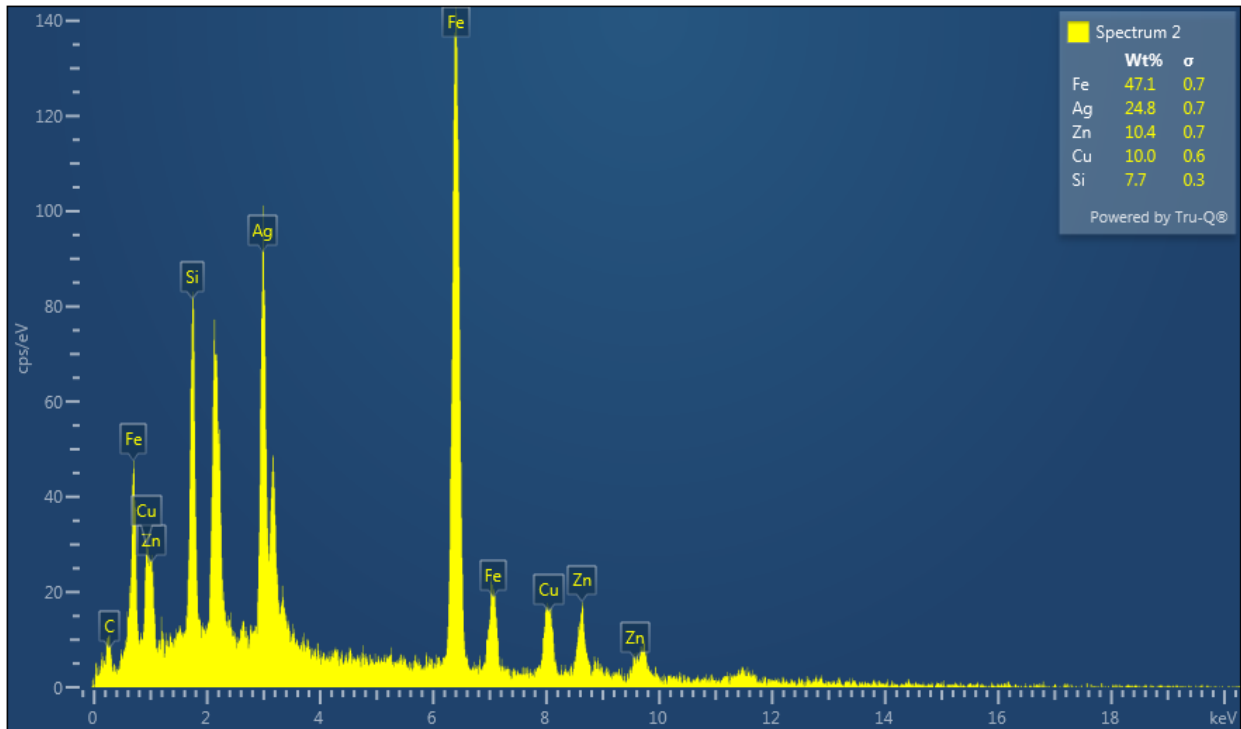
PMI Pro	SNr. 13T0039	Optik Nr. 13T0039					
Sample	:LMT 1124 B						
Alloy	: FE_T_100	Mode	: PA 06/08/2021 04:23:00 p.m.				
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
1	97,1	0,370	0,258	0,815	0,0191	< 0,0030	0,913
2	97,1	0,362	0,263	0,818	0,0168	< 0,0030	0,879
3	97,1	0,367	0,260	0,822	0,0207	< 0,0030	0,883
4	97,0	0,386	0,263	0,831	0,0251	< 0,0030	0,884
Average	97,1	0,371	0,261	0,821	0,0204	< 0,0030	0,890
	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti
1	0,214	0,0860	0,0326	0,0088	0,117	< 0,0030	0,0019
2	0,197	0,0898	0,0297	0,0077	0,115	< 0,0030	< 0,0010
3	0,199	0,0857	0,0305	0,0083	0,112	< 0,0030	0,0011
4	0,203	0,0918	0,0380	0,0094	0,114	< 0,0030	0,0016
Average	0,203	0,0884	0,0327	0,0085	0,115	< 0,0030	0,0014
	V	W	Pb	Sn	B	Zr	As
1	< 0,0020	0,0562	0,0353	0,0066	< 0,0010	0,0038	< 0,0050
2	< 0,0020	0,0548	0,0298	0,0057	< 0,0010	0,0031	< 0,0050
3	< 0,0020	0,0599	0,0351	0,0083	< 0,0010	0,0036	< 0,0050
4	< 0,0020	0,0544	0,0340	0,0107	< 0,0010	0,0034	< 0,0050
Average	< 0,0020	0,0563	0,0335	0,0078	< 0,0010	0,0035	< 0,0050
	Bi						
1	< 0,0250						
2	< 0,0250						
3	< 0,0250						
4	< 0,0250						
Average	< 0,0250						

ANEXO III: INFORME BARRIDO SEM – OXFORD INSTRUMENTS

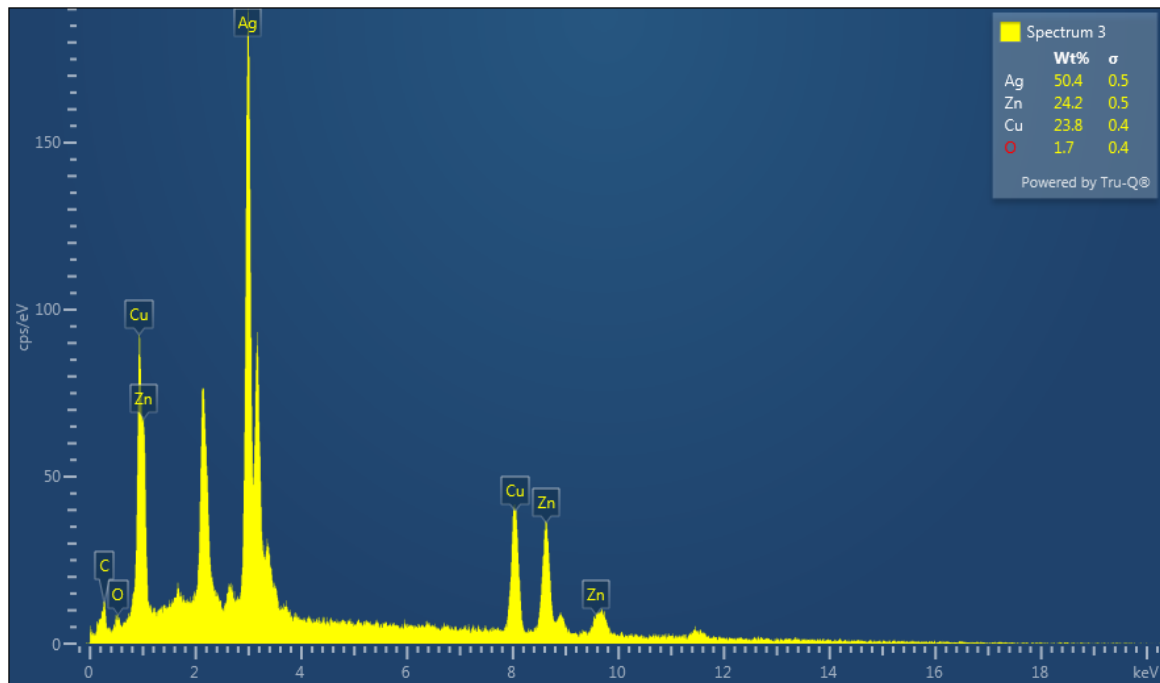
MUESTRA M2A



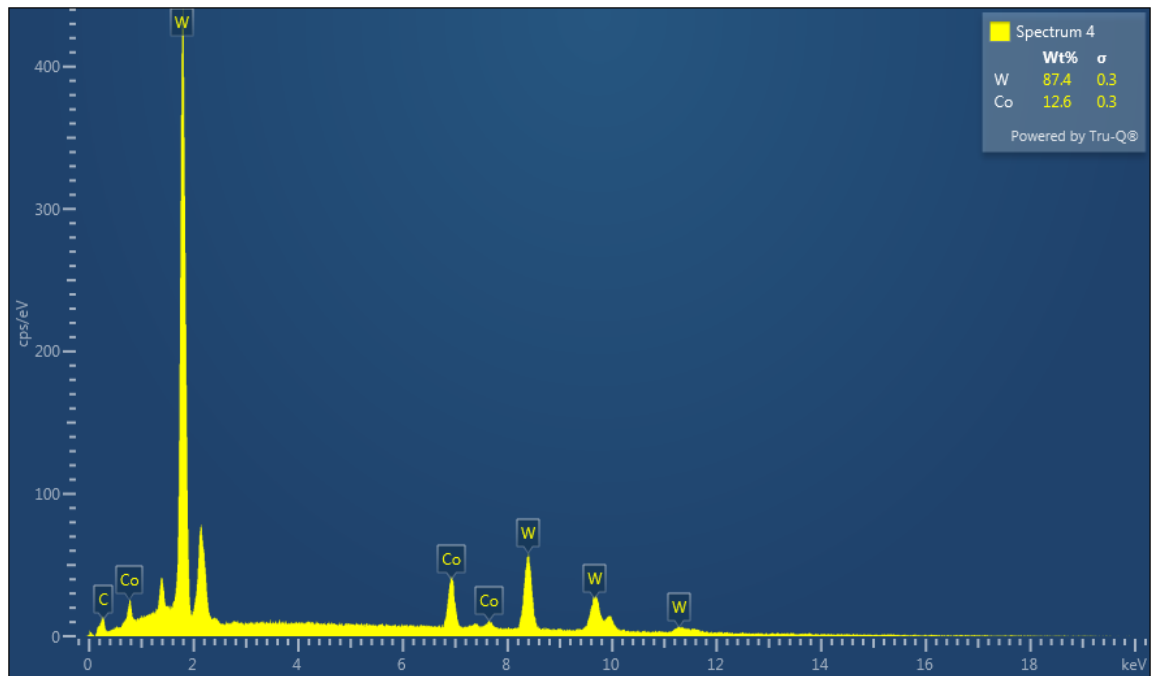
Spectrum 1								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
Mn	K series	0.94	0.00940	0.84	0.10	Mn	Yes	
Fe	K series	113.12	113.122	99.16	0.10	Fe	Yes	
Total:				100.00				



Spectrum 2								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
Si	K series	5.83	0.04621	7.69	0.29	SiO2	Yes	
Fe	K series	53.68	0.53681	47.11	0.73	Fe	Yes	
Cu	K series	10.52	0.10517	9.99	0.58	Cu	Yes	
Zn	K series	11.13	0.11126	10.40	0.67	Zn	Yes	
Ag	L series	24.24	0.24237	24.81	0.66	Ag	Yes	
Total:				100.00				

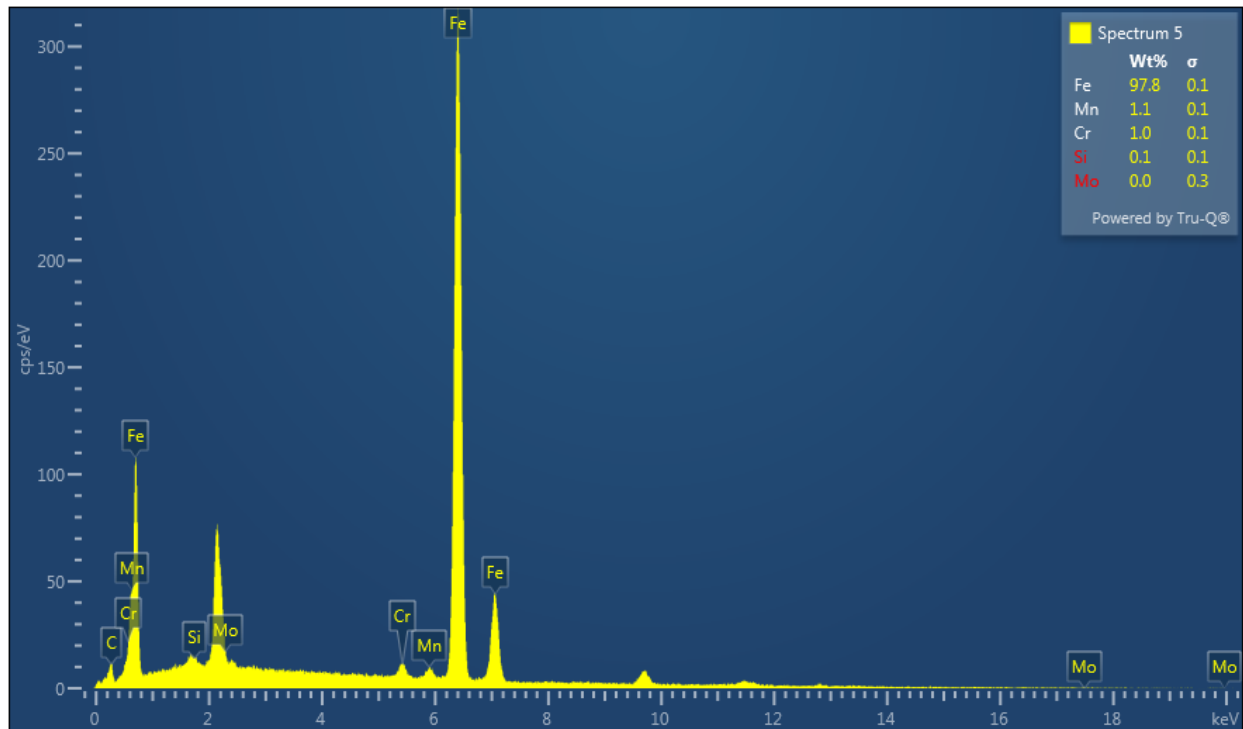
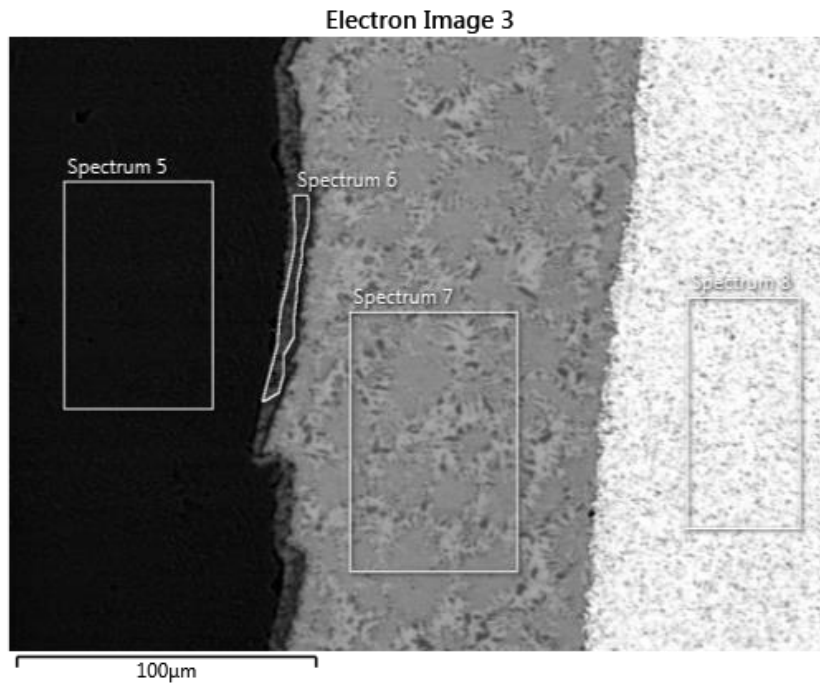


Spectrum 3								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
O	K series	0.92	0.00310	1.68	0.35	SiO2	Yes	
Cu	K series	27.11	0.27112	23.76	0.45	Cu	Yes	
Zn	K series	27.94	0.27938	24.20	0.51	Zn	Yes	
Ag	L series	50.47	0.50473	50.37	0.54	Ag	Yes	
Total:				100.00				

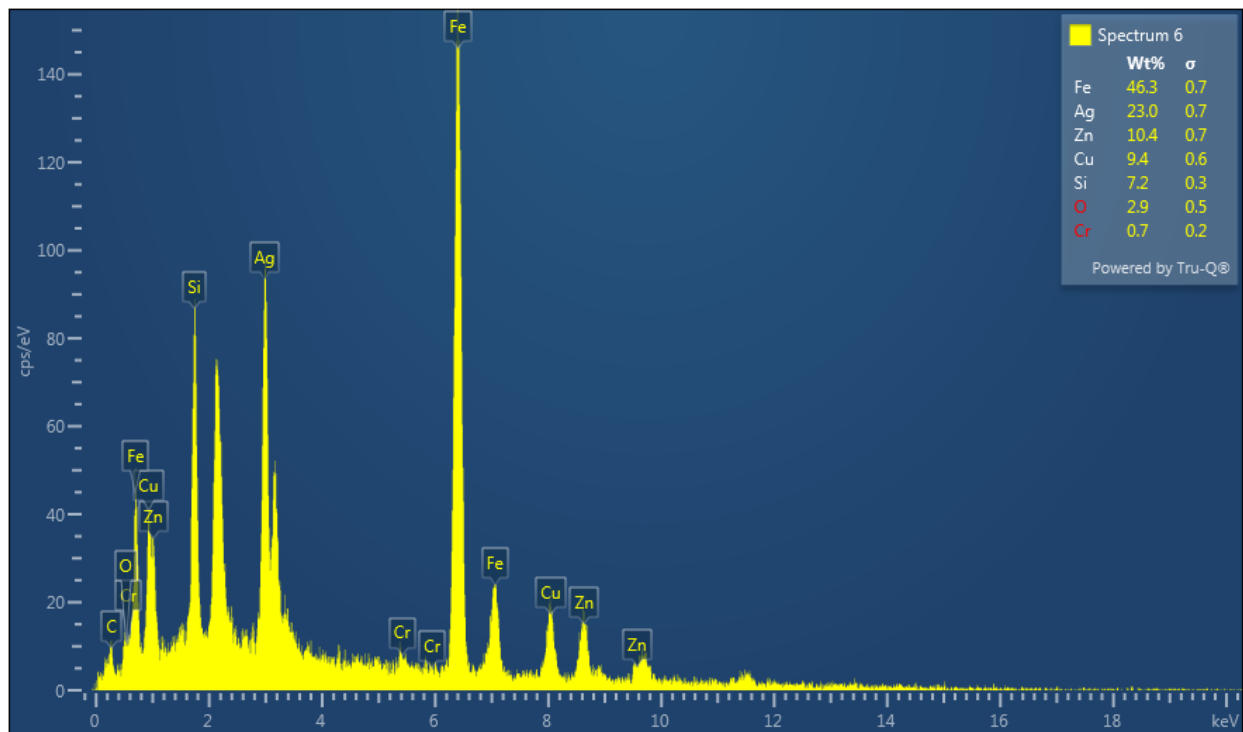


Spectrum 4								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
Co	K series	16.82	0.16820	12.64	0.27	Co	Yes	
W	L series	92.61	0.92614	87.36	0.27	W	Yes	
Total:				100.00				

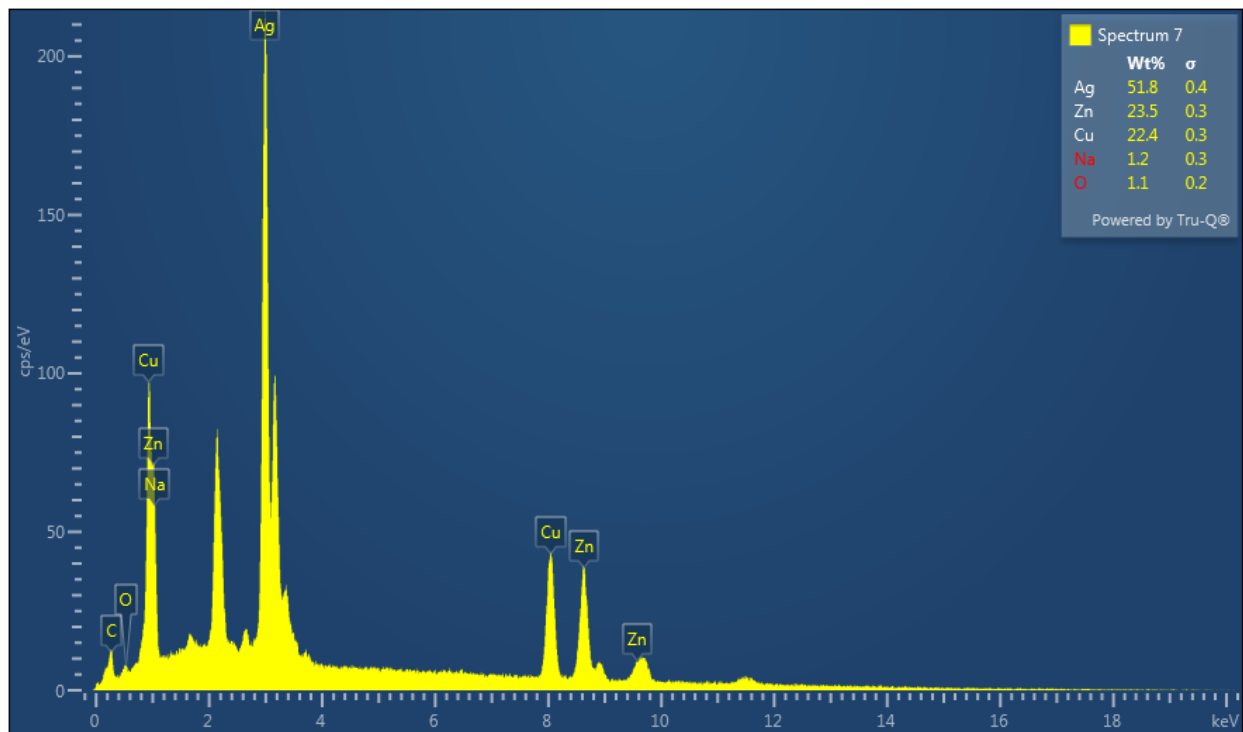
MUESTRA M2B



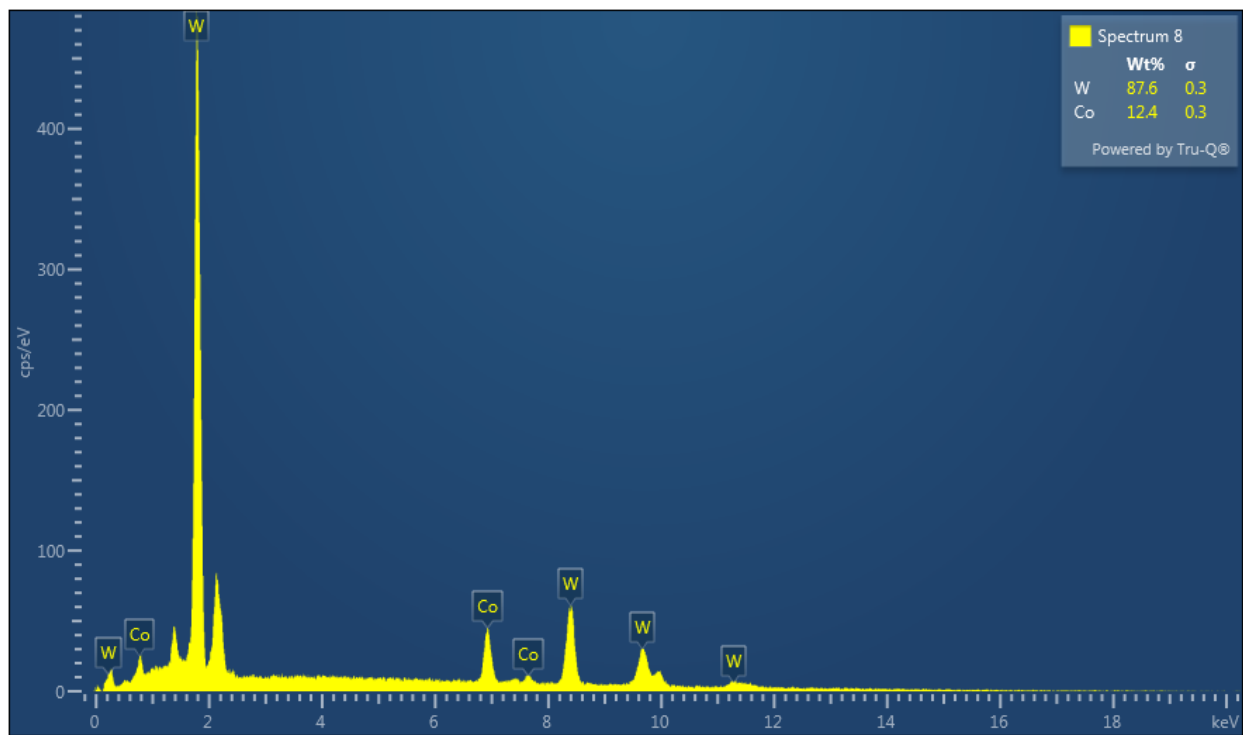
Spectrum 5								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
Si	K series	0.09	0.00069	0.11	0.07	SiO2	Yes	
Cr	K series	1.58	0.01575	1.00	0.08	Cr	Yes	
Mn	K series	1.33	0.01325	1.10	0.11	Mn	Yes	
Fe	K series	120.62	120624	97.79	0.15	Fe	Yes	
Mo	L series	0.00	0.00000	0.00	0.26	Mo	Yes	
Total:				100.00				



Spectrum 6								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
O	K series	2.72	0.00915	2.94	0.51	SiO2	Yes	
Si	K series	5.95	0.04712	7.19	0.28	SiO2	Yes	
Cr	K series	0.87	0.00871	0.69	0.20	Cr	Yes	
Fe	K series	57.04	0.57045	46.32	0.75	Fe	Yes	
Cu	K series	10.73	0.10726	9.43	0.55	Cu	Yes	
Zn	K series	12.01	0.12012	10.40	0.65	Zn	Yes	
Ag	L series	24.43	0.24432	23.02	0.65	Ag	Yes	
Total:				100.00				

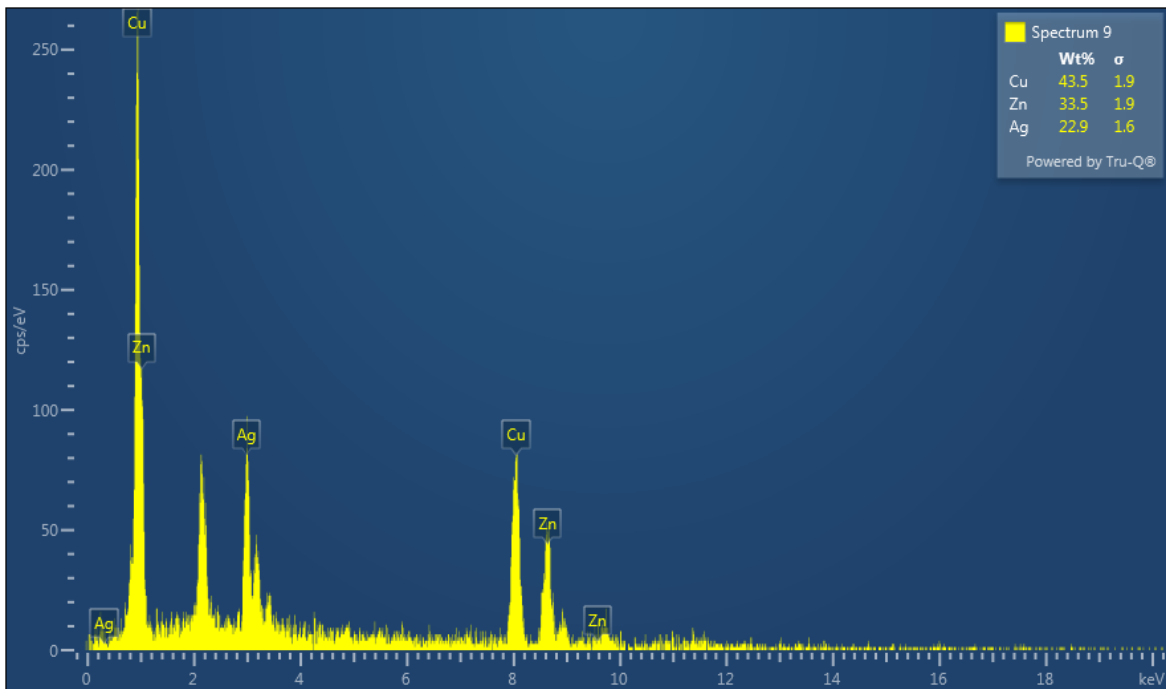
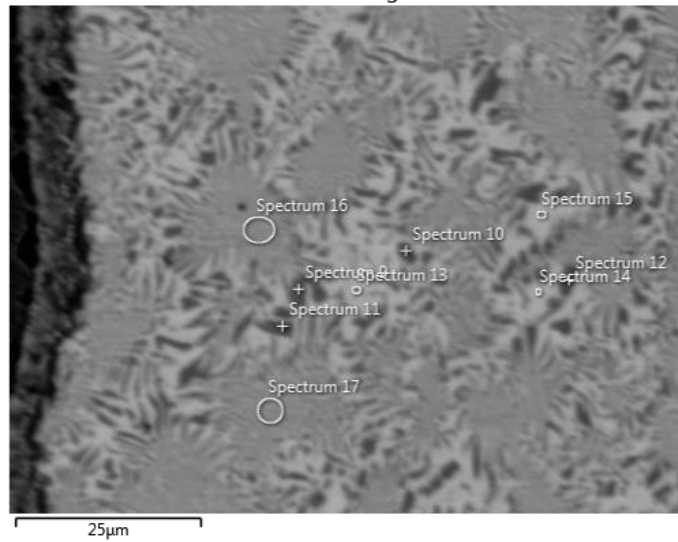


Spectrum 7								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
O	K series	0.67	0.00224	1.12	0.21	SiO2	Yes	
Na	K series	0.72	0.00304	1.20	0.32	Albite	Yes	
Cu	K series	28.01	0.28007	22.42	0.28	Cu	Yes	
Zn	K series	29.69	0.29688	23.48	0.32	Zn	Yes	
Ag	L series	56.96	0.56964	51.77	0.38	Ag	Yes	
Total:				100.00				

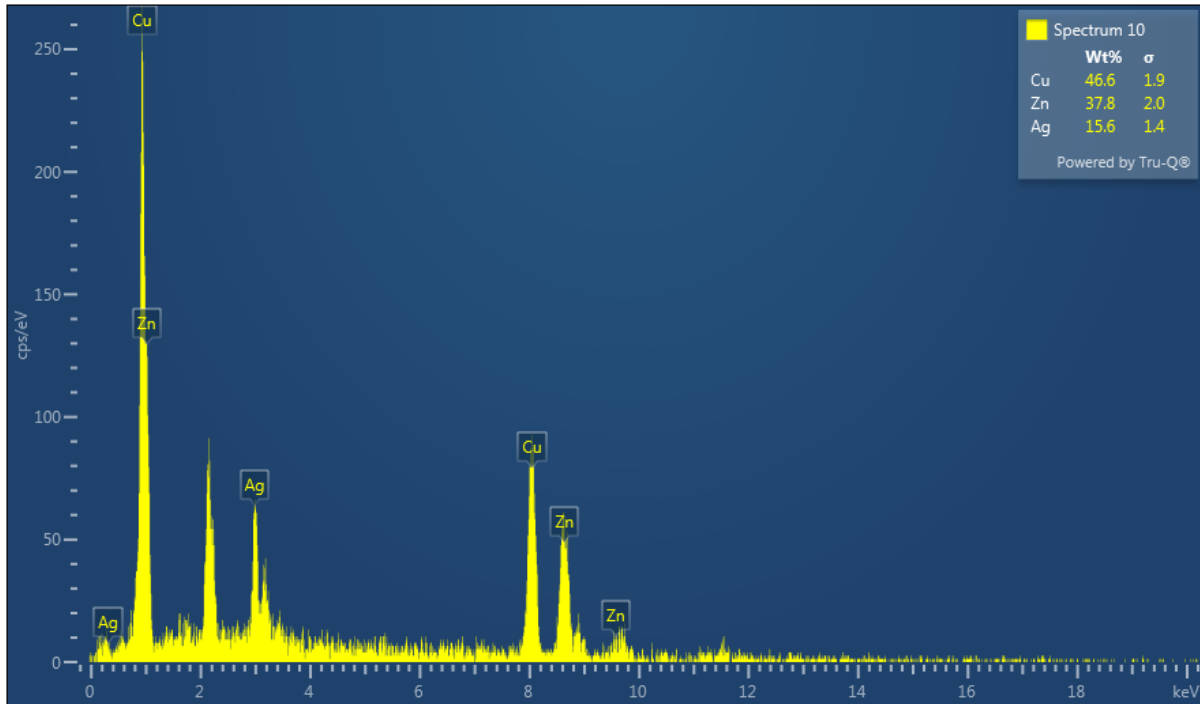


Spectrum 8								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
Co	K series	17.56	0.17560	12.35	0.30	Co	Yes	
W	L series	99.28	0.99279	87.65	0.30	W	Yes	
Total:				100.00				

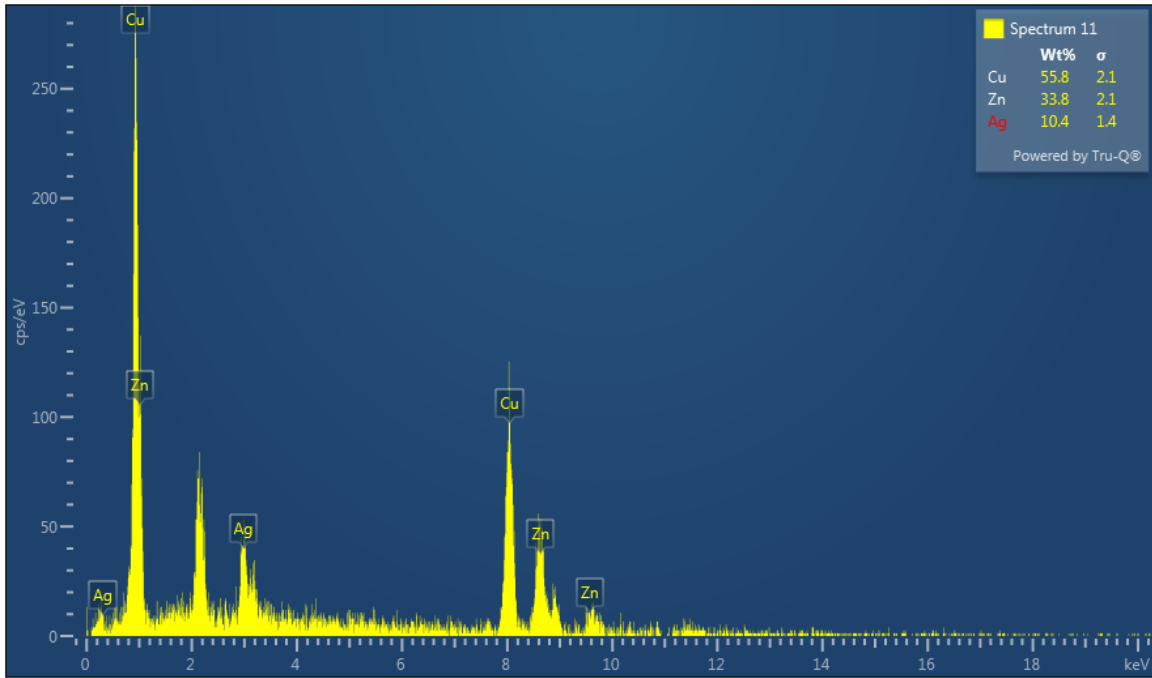
Electron Image 5



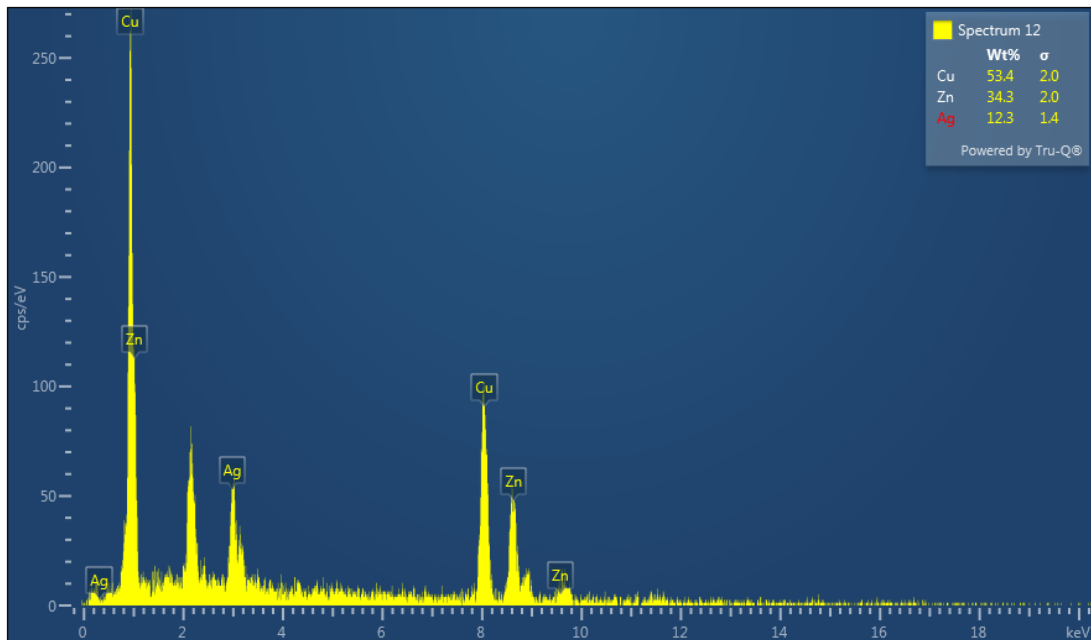
Spectrum 9								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
Cu	K series	53.82	0.53820	43.52	1.90	Cu	Yes	
Zn	K series	41.77	0.41769	33.53	1.94	Zn	Yes	
Ag	L series	23.52	0.23515	22.95	1.58	Ag	Yes	
Total:				100.00				



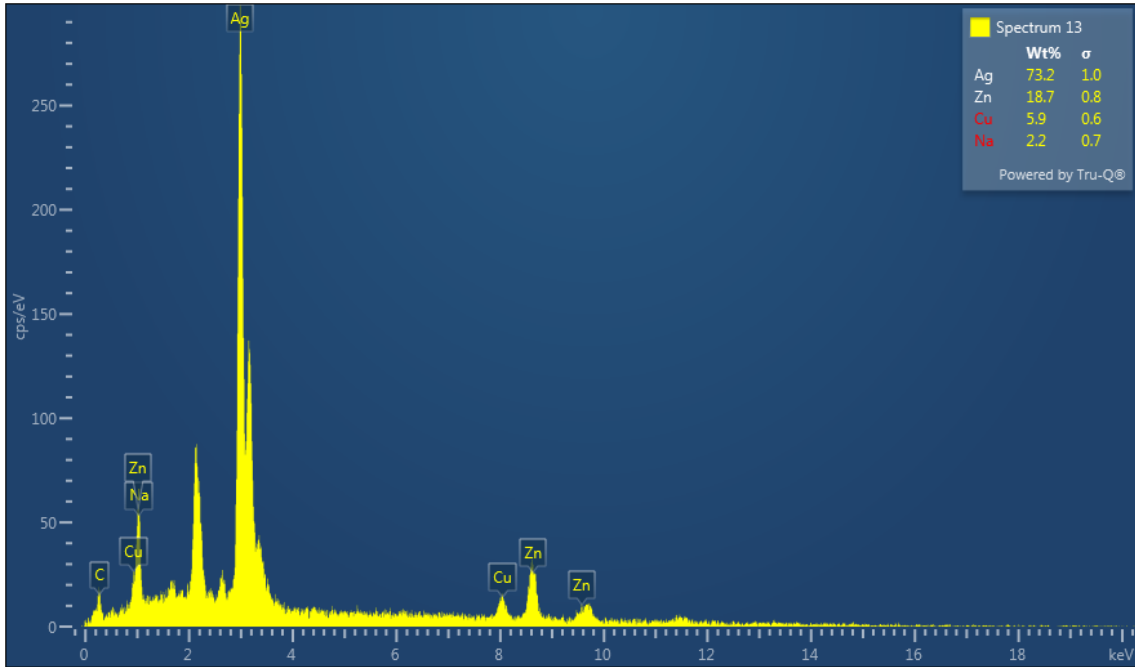
Spectrum 10								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
Cu	K series	58.99	0.58988	46.60	1.95	Cu	Yes	
Zn	K series	48.16	0.48160	37.82	2.00	Zn	Yes	
Ag	L series	16.10	0.16097	15.58	1.43	Ag	Yes	
Total:				100.00				



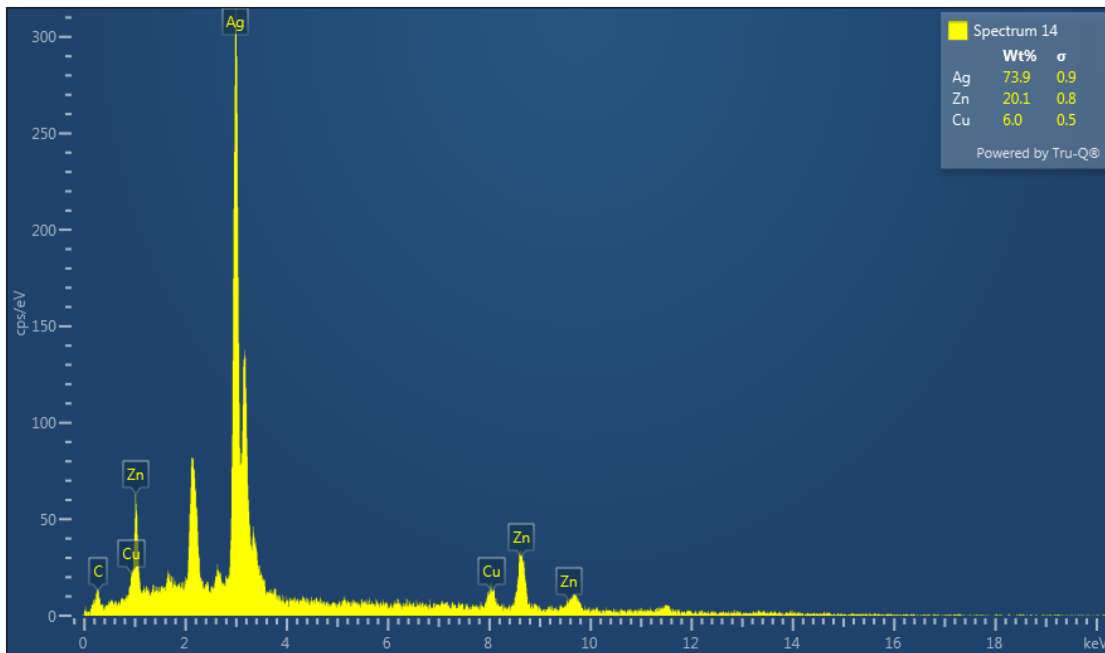
Spectrum 11								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
Cu	K series	68.07	0.68069	55.80	2.10	Cu	Yes	
Zn	K series	41.44	0.41445	33.81	2.08	Zn	Yes	
Ag	L series	10.27	0.10270	10.39	1.41	Ag	Yes	
Total:				100.00				



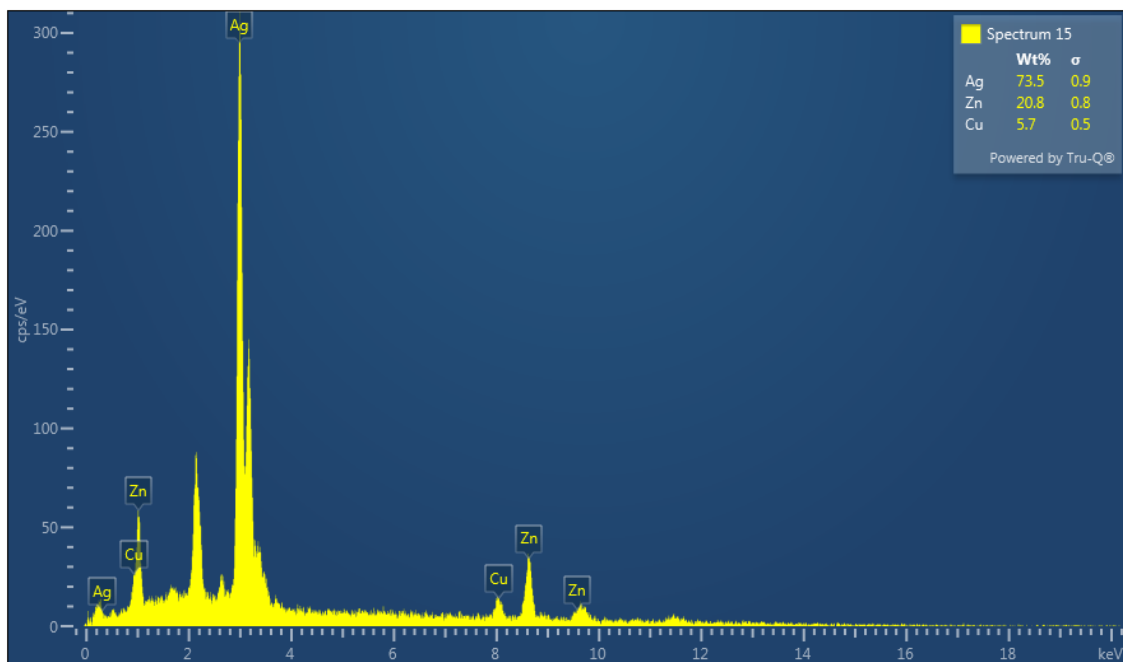
Spectrum 12								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
Cu	K series	65.97	0.65973	53.41	1.98	Cu	Yes	
Zn	K series	42.61	0.42606	34.31	1.96	Zn	Yes	
Ag	L series	12.32	0.12322	12.28	1.43	Ag	Yes	
Total:				100.00				



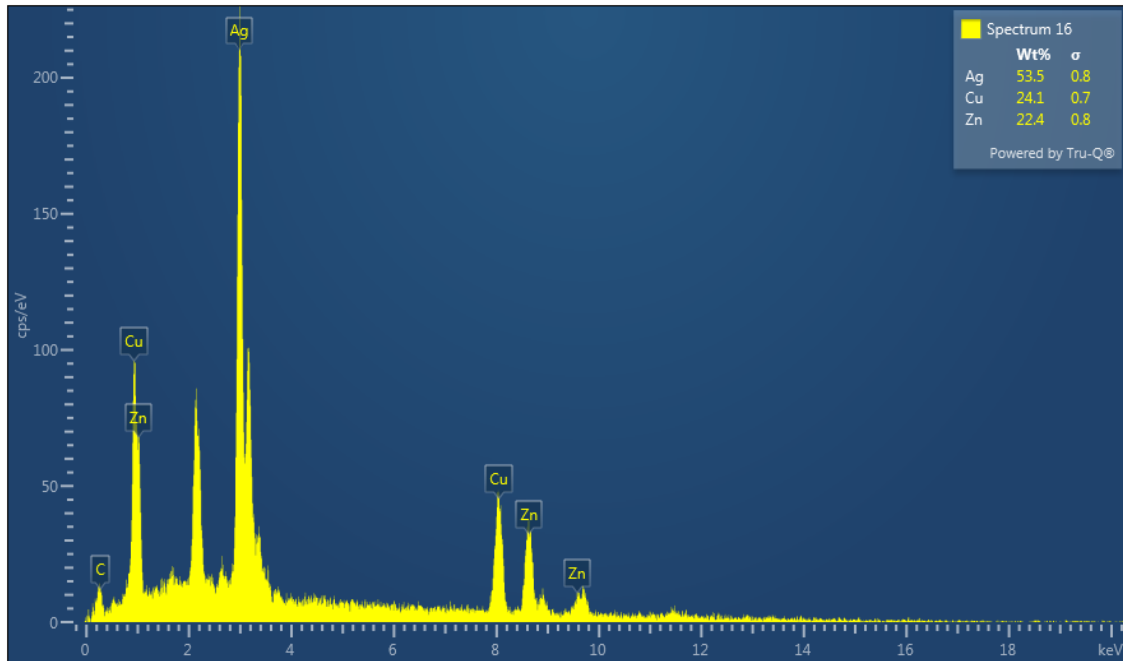
Spectrum 13								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
Na	K series	1.41	0.00593	2.22	0.73	Albite	Yes	
Cu	K series	6.91	0.06911	5.88	0.57	Cu	Yes	
Zn	K series	22.32	0.22319	18.69	0.83	Zn	Yes	
Ag	L series	78.83	0.78831	73.21	1.04	Ag	Yes	
Total:				100.00				



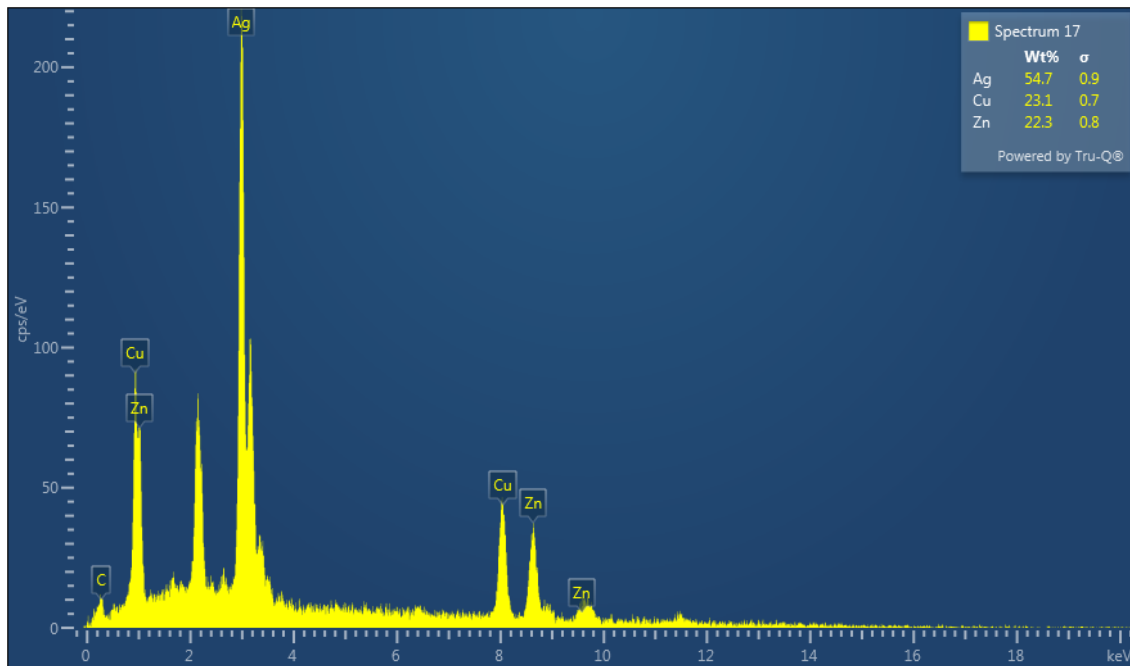
Spectrum 14								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
Cu	K series	7.41	0.07405	5.97	0.54	Cu	Yes	
Zn	K series	25.34	0.25336	20.09	0.78	Zn	Yes	
Ag	L series	83.88	0.83882	73.94	0.86	Ag	Yes	
Total:				100.00				



Spectrum 15								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
Cu	K series	7.11	0.07106	5.71	0.53	Cu	Yes	
Zn	K series	26.27	0.26273	20.78	0.78	Zn	Yes	
Ag	L series	83.54	0.83536	73.51	0.85	Ag	Yes	
Total:				100.00				

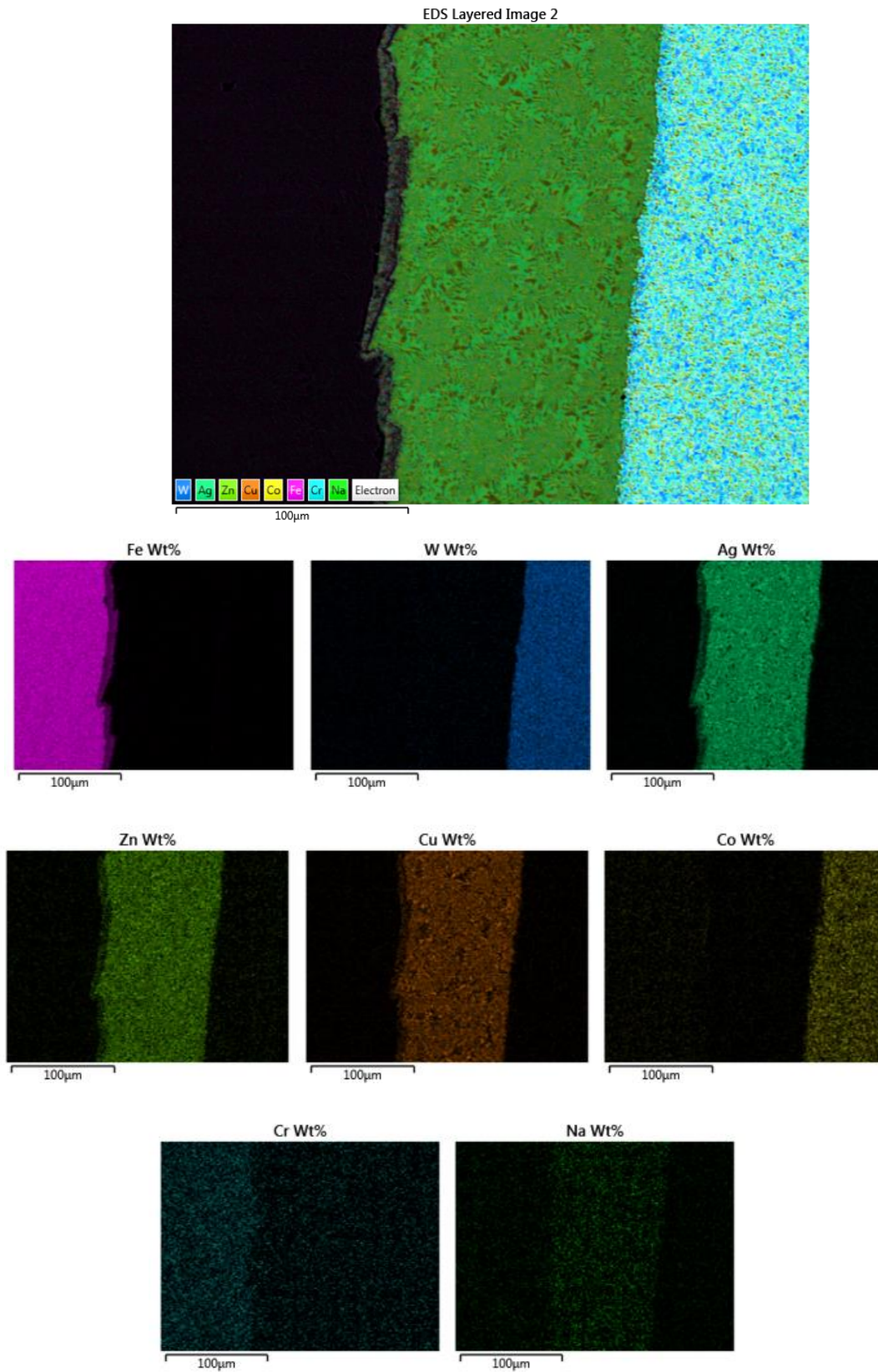


Spectrum 16								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
Cu	K series	30.05	0.30049	24.12	0.73	Cu	Yes	
Zn	K series	28.25	0.28252	22.39	0.80	Zn	Yes	
Ag	L series	58.63	0.58635	53.49	0.85	Ag	Yes	
Total:				100.00				



Spectrum 17								
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
Cu	K series	27.77	0.27765	23.06	0.73	Cu	Yes	
Zn	K series	27.16	0.27159	22.27	0.81	Zn	Yes	
Ag	L series	58.05	0.58048	54.68	0.86	Ag	Yes	
Total:				100.00				

MAPEO SEM M2B:



ANEXO IV: ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL METAL DE APORTE



FONTARGEN A 314 AF 314

Varilla OFW, aleación de Plata al 55%, libre de Cadmio.

Especificación					
ISO 17672		EN ISO 3677		Material No.	
Ag 155		B-Ag55ZnCuSn-630/660		2.5159	
Campo de aplicación					
Fontargen A 314 es una aleación de plata para soldadura fuerte con bajo punto de fusión sin cadmio, insensible al sobrecalentamiento, para uniones en aceros aleados y no aleados, níquel y aleaciones de níquel, hierro colado maleable, cobre, aleaciones de cobre y carburos metálicos. En uniones de aceros inoxidable provee la mejor compatibilidad de color posible, adecuado para juntas donde se usará agua de mar según el código VG 81245 sección 3, la ausencia de cadmio lo hace adecuado para juntas de grado alimenticio. El silicio contenido en la soldadura puede reducir los valores de las propiedades mecánicas de la soldadura en aceros al carbono. Ideal para uniones que trabajan hasta 200 °C.					
Análisis estándar del depósito (% en peso)					
Ag		Zn		Cu	
55.00		22.00		21.00	
				Sn	
				2.00	
Propiedades mecánicas del depósito					
Temperatura de trabajo	Rango de fusión	Peso específico	Resistencia a la tracción	Conductividad eléctrica	Dureza
650 °C	630 - 660 °C	9.4 g/cm ³	330-430 MPa	7 Sm/mm ²	110 HB
Instrucciones para soldar					
Aplicar fundente en la zona de unión con métodos de calentamiento por combustión oxiacetilénica, propano-aire, resistencia o inducción por alta frecuencia. Proporcionar el calentamiento en el material base hasta aproximarse a la temperatura de trabajo, acercar la varilla desnuda o revestida al material base, por contacto éste último transmitirá el calor al material de aporte el cual fluirá por la zona deseada.					
Fundentes					
Usar fundentes de la serie F300					
Procesos de soldadura					
Oxiacetilénico, inducción y calentamiento por resistencia					
Presentaciones					
FONTARGEN A 314 VARILLA	FONTARGEN AF 314 VARILLA REVESTIDA	FONTARGEN AP 314 PASTA	FONTARGEN A 314 ALAMBRE		
Caja de cartón 1 kg	Caja de cartón 1 kg	Consulte con nuestro Representante Técnico por esta disponibilidad.	Consulte con nuestro Representante Técnico por esta disponibilidad.		
Aprobaciones					
Marine code VG 81245, sección 3					
Los datos e información contenidos en esta ficha técnica son exclusivamente para dar orientación acerca de la aplicación de ciertos productos. El usuario es totalmente responsable de la debida utilización de dichos productos para dar cumplimiento con los estándares, especificaciones, procedimientos de mantenimiento y códigos de construcción, fabricación, montaje o reparación aplicables.					